

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

**“EFECTO DEL pH Y TIEMPO EN EL PRETRATAMIENTO POR
ULTRASONIDO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SNACK DE
PLÁTANO PALILLO (*Musa paradisiaca* L.) FREÍDOS AL VACÍO”**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER:
EDWIN ROLDAN CHUQUILIN OLIVARES**

ASESORES:
ING. Mtr. MAX EDWIN SANGAY TERRONES
ING. Mtr. WILLIAM MINCHÁN QUISPE

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
EDWIN ROLDAN CHUQUILIN OLIVARES
DNI: 47182968
Escuela Profesional/Unidad UNC:
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
Facultad/Unidad UNC:
Ciencias Agrarias
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"EFECTO DEL pH Y TIEMPO EN EL PRETRATAMIENTO POR ULTRASONIDO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SNACK DE PLÁTANO PALILLO (*Musa paradisiaca* L.) FREÍDOS AL VACÍO"
6. Fecha de evaluación: 24/02/2026
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 24%
9. Código Documento: oid::3117:560321456
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25/02/2026

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones DNI: 10492305

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los cuatro días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 518-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de setiembre del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"EFECTO DEL pH Y TIEMPO EN EL PRETRATAMIENTO POR ULTRA SONIDO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN SNACK DE PLÁTANO PALILLO (*Musa paradisiaca* L.) FREÍDOS AL VACÍO"**, realizada por el Bachiller **EDWIN ROLDAN CHUQUILÍN OLIVARES** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las diez horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las once horas y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.


Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez
SECRETARIO


Dr. José Gerardo Salnuana Granados
VOCAL


Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
ASESOR


Ing. Mtr. William Minchán Quispe
ASESOR

Dedicatoría

*La presente Tesis está dedicada a **DIOS**, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera profesional; esta tesis se teje en hilos de tu amor, es el reflejo de la seguridad que me brindas en cada paso que doy, gracias por sostenerme en mis momentos de debilidad, eres la melodía que da ritmo a mi vida y mi paz en medio de la tormenta.*

A mi amada esposa: Roxana, que en los días turbulentos ha sido mi ancla y en los días buenos la razón de mi alegría; cada día a tu lado es una nueva aventura y cada momento es mi regalo. Eres mi compañera, mi amiga y mi todo.

A mis adorados hijos: Micaela Solange y Albert Josiel, pues cada día a su lado es el regalo más preciado atesorado en mi corazón, sus risas, curiosidad e infinita capacidad de amar son la inspiración detrás de cada logro de mi vida.

Esta tesis es un pequeño testimonio de que todo lo que hago lo hago pensando en ustedes. Gracias por llenar mi mundo de amor y felicidad.

Edwin Roldan.

Agradecimientos

A **Dios**, quién me guía y me da la fuerza y fortaleza para seguir adelante.

A mis padres: **Jorge Chuquilin Mendoza** y **Estelita Olivares Lozano** por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, han sido mi ejemplo de fortaleza y sabiduría, gracias por su guía, consejos y su inquebrantable apoyo en cada etapa de mi vida, ustedes son el motivo para el cumplimiento de mis objetivos.

A mis queridos **hermanos** decirles que suerte tuvimos de nacer en la misma familia y tener siempre uno la compañía del otro; tenerlos como hermanos es mi mayor orgullo, porque en cada paso me han demostrado lo que significa la lealtad.

A cada uno de los **docentes** que fueron parte de mi proceso académico, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi carrera profesional.

Al Ing. Mtr. **Max Edwin Sangay Terrones** y al Ing. Mtr. **William Minchán Quispe** (asesores de tesis) por toda su ayuda, orientación y sugerencias durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Edwin Chuquilin.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivo general	3
1.3.1. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.5. Hipótesis de la investigación.....	5
CAPÍTULO II.....	6
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. <i>Plátano</i>	11
2.2.1.1. Características del plátano	11
2.2.1.2. Contenido nutricional del plátano	12
2.2.1.3. Composición química del plátano.....	12
2.2.1.4. Variedades de plátanos peruanos	13
2.2.2. <i>Snack</i>	17
2.2.2.1. Características de un snack.....	18
2.2.2.2. Valor nutritivo de un snack.....	19
2.2.2.3. Vida útil de los snacks.....	20
2.2.2.4. Requisitos de un snack	20
2.2.2.5. Tipos de snacks	20
2.2.2.6. Clasificación de los snacks	21
2.2.2.7. Formas de procesamiento del snack de plátano	22
2.2.2.8. Descripción del proceso para la obtención de un snack:	23
2.2.2.9. Características texturales de un snack	24
2.2.3. <i>Pre tratamiento</i>	25

2.2.4.	<i>Aplicación de tratamientos en la fritura al vacío</i>	26
2.2.5.	<i>Inmersión en soluciones ácidas</i>	26
2.2.6.	<i>Ultrasonido</i>	26
2.2.6.1.	Ultrasonido en procesamiento de alimentos	27
2.2.7.	<i>Fritura</i>	28
2.2.7.1.	Etapas de la fritura al vacío	29
2.2.8.	<i>Textura</i>	29
2.2.8.1.	Análisis de perfil de textura	31
2.2.8.2.	Equipo analizador de textura	32
2.2.8.3.	Importancia del perfil de textura en la industria alimentaria	35
2.2.8.4.	Texturómetro Brookfield.....	35
2.3.	Definición de términos básicos	36
CAPÍTULO III		38
III. MATERIALES Y MÉTODOS		38
3.1.	Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	38
3.2.	Materia prima e insumos.....	39
3.3.	Materiales de laboratorio	39
3.4.	Métodos de análisis	40
3.4.1.	<i>Análisis instrumental de textura</i>	40
3.5.	Metodología experimental	41
3.5.1.	<i>Tipo de investigación</i>	41
3.6.	Variables de estudio.....	41
3.6.1.	<i>Variable independiente</i>	41
3.6.2.	<i>Variable dependiente</i>	41
3.7.	Unidad de análisis, población y muestra de estudio	42
3.7.1.	<i>Unidad de análisis</i>	42
3.7.2.	<i>Población</i>	42
3.7.3.	<i>Muestra de estudio</i>	42
3.8.	Instrumentos de colecta de datos	42

3.9.	Proceso de elaboración de snack de plátano palillo.....	44
3.10.	Factores de estudio	53
3.11.	Diseño experimental	53
3.12.	Modelo estadístico.....	55
3.13.	Análisis de varianza.....	56
3.14.	Matriz de tratamientos	57
3.15.	Trabajo de gabinete	57
CAPÍTULO IV		58
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1.	Dureza en snacks de plátano palillo.....	58
4.2.	Fracturabilidad en snacks de plátano palillo	66
4.3.	Cohesividad en snacks de plátano palillo.....	73
CAPÍTULO V		81
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1.	Conclusiones	81
5.2.	Recomendaciones	81
CAPÍTULO VI		82
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CAPÍTULO VII.....		98
VII.	ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	13
<i>Composición química del plátano</i>	<i>13</i>
Tabla 2	19
<i>Composición química de los snacks.....</i>	<i>19</i>
Tabla 3	27
<i>Intensidad del ultrasonido para diferentes procesos.</i>	<i>27</i>
Tabla 4	30
<i>Propiedades primarias de la textura</i>	<i>30</i>
Tabla 5	31
<i>Propiedades secundarias de la textura</i>	<i>31</i>
Tabla 6	41
<i>Metodología experimental.....</i>	<i>41</i>
Tabla 7	42
<i>Instrumentos de colecta de datos.....</i>	<i>42</i>
Tabla 8	53
<i>Factores de estudio para “Snack de plátano palillo”</i>	<i>53</i>
Tabla 9	56
<i>Análisis de varianza para factorial de 2 factores (A y B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones.</i>	<i>56</i>
Tabla 10.....	57
<i>Matriz de tratamientos</i>	<i>57</i>
Tabla 11.....	58
<i>Promedios para dureza (g-f) en 9 muestra de snacks de plátano palillo.....</i>	<i>58</i>
Tabla 12.....	59
<i>Análisis de varianza (ANOVA) para dureza en snack de plátano palillo.</i>	<i>59</i>
Tabla 13.....	66
<i>Promedios para fracturabilidad (g-f) en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	<i>66</i>
Tabla 14.....	67
<i>Análisis de varianza para fracturabilidad en snack de plátano palillo</i>	<i>67</i>

Tabla 15.....	73
<i>Promedios para cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	<i>73</i>
Tabla 16.....	74
<i>Análisis de varianza para cohesividad en snack de plátano palillo</i>	<i>74</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	14
<i>Plátano bellaco</i>	14
Figura 2	14
<i>Plátano bizcocho</i>	14
Figura 3	15
<i>Plátano de isla</i>	15
Figura 4	15
<i>Plátano manzano</i>	15
Figura 5	16
<i>Plátano palillo</i>	16
Figura 6	16
<i>Plátano rojo</i>	16
Figura 7	17
<i>Plátano de seda</i>	17
Figura 8	22
<i>Snack de plátano</i>	22
Figura 9	27
<i>Tipos de ultrasonidos</i>	27
Figura 10	33
<i>Analizador de textura</i>	33
Figura 11	33
<i>Gráfica general del análisis de perfil de textura</i>	33
Figura 12	38
<i>Mapa de ubicación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca</i>	38
Figura 13	43
<i>Elaboración de snacks de plátano palillo</i>	43
Figura 14	44
<i>Recepción</i>	44

Figura 15	44
<i>Selección</i>	44
Figura 16	45
<i>Clasificación</i>	45
Figura 17	45
<i>Pesado</i>	45
Figura 18	46
<i>Lavado</i>	46
Figura 19	46
<i>Desinfectado</i>	46
Figura 20	47
<i>Escaldado</i>	47
Figura 21	48
<i>Pelado</i>	48
Figura 22	48
<i>Rebanado</i>	48
Figura 23	49
<i>2do pesado</i>	49
Figura 24	49
<i>Inmersión en solución</i>	49
Figura 25	50
<i>Ultrasonido</i>	50
Figura 26	50
<i>Fritura</i>	50
Figura 27	51
<i>Ecurrido</i>	51

Figura 28	51
<i>Enfriado</i>	51
Figura 29	52
<i>Envasado</i>	52
Figura 30	52
<i>Almacenado</i>	52
Figura 31	54
<i>Esquema de tratamientos</i>	54
Figura 32	60
<i>Gráfico de pareto estandarizado para dureza en snacks de plátano palillo</i>	60
Figura 33	61
<i>Gráficos de perfil y de superficie de respuesta para dureza en snacks de plátano palillo</i>	61
Figura 34	62
<i>Gráfico de efectos individuales sobre la dureza en snacks de plátano palillo</i>	62
Figura 35	63
<i>Promedios de dureza en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	63
Figura 36	68
<i>Gráfico de pareto estandarizado para fracturabilidad en snacks de plátano palillo</i>	68
Figura 37	69
<i>Gráficos de perfil y de superficie de respuesta para fracturabilidad en snacks de plátano palillo</i>	69
Figura 38	70
<i>Gráfico de efectos individuales sobre la fracturabilidad en snacks de plátano palillo</i>	70
Figura 39	71
<i>Promedios para fracturabilidad en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	71

Figura 40	75
<i>Gráfico de pareto estandarizado para cohesividad en snacks de plátano palillo</i>	<i>75</i>
Figura 41	76
<i>Gráficos de perfil y de superficie de respuesta para cohesividad en snacks de plátano palillo .</i>	<i>76</i>
Figura 42	77
<i>Gráfico de efectos individuales sobre la cohesividad en snacks de plátano palillo</i>	<i>77</i>
Figura 43	78
<i>Promedios para cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	<i>78</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	98
<i>Datos de dureza en 9 tratamientos de snacks de plátano palillo.....</i>	<i>98</i>
ANEXO II	99
<i>Datos de fracturabilidad en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	<i>99</i>
ANEXO III.....	100
<i>Datos de cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo</i>	<i>100</i>
ANEXO IV.....	101
<i>Optimización de dureza, fracturabilidad y cohesividad en snacks de plátano palillo.....</i>	<i>101</i>
ANEXOS V.....	102
<i>Máquinas y equipos utilizados en la obtención de snacks de plátano palillo</i>	<i>102</i>
ANEXO VI.....	103
<i>Proceso de obtención de snacks de plátano palillo</i>	<i>103</i>
ANEXO VII	105
<i>Medición de dureza, fracturabilidad y cohesividad en snacks de plátano palillo.....</i>	<i>105</i>

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el 1er piso del laboratorio de “Frutas y hortalizas” perteneciente de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. El objetivo principal fue determinar el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultra sonido en las características físicas de snacks de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío. Se aplicó un (DCA) diseño experimental completamente al azar con análisis de varianza (ANOVA), donde se utilizó pH de (2.5, 3 y 3.5) como factor A, y tiempo de pretratamiento por ultrasonido de (2 min, 4 min y 6 min) como factor B, haciendo un total de nueve (9) tratamientos evaluados por triplicado. La investigación duró 30 días con una frecuencia de evaluación de cada 5 días. Resultados: la dureza más alta fue 71.56 g-f en T1 a un pH de (2.5) y tiempo de ultrasonido de (2 min), la fracturabilidad más alta fue 29.22 g-f en T2 a un pH de (2.5) y tiempo de ultrasonido de (4 min) y la cohesividad más alta fue 1 en T2 a un pH de (2.5) y tiempo de ultrasonido de (4 min). Se concluye que el factor A (pH), el factor B (tiempo de pretratamiento por ultrasonido) y la interacción de factores “AB” (pH*tiempo de tratamiento por ultrasonido) influyen significativamente ($p < 0.05$) en la dureza, fracturabilidad y cohesividad de los snacks de plátano palillo.

Palabras clave: plátano palillo, snacks, pH, tiempo, pretratamiento, ultrasonido, fritura al vacío, características físicas, textura instrumental, dureza, fracturabilidad, cohesividad.

ABSTRACT

This research was conducted on the first floor of the "Fruits and Vegetables" laboratory at the School of Food Industry Engineering of the National University of Cajamarca. The main objective was to determine the effect of pH and ultrasonic pretreatment time on the physical characteristics of vacuum-fried plantain (*Musa paradisiaca* L.) snacks. A completely randomized design (DCA) with analysis of variance (ANOVA) was applied, using pH values of 2.5, 3, and 3.5 as factor A, and ultrasonic pretreatment times of 2, 4, and 6 minutes as factor B, for a total of nine (9) treatments evaluated in triplicate. The research lasted 30 days, with evaluations conducted every 5 days. Results: The highest hardness was 71.56 g-f in T1 at pH 2.5 and an ultrasound time of 2 min. The highest fractality was 29.22 g-f in T2 at pH 2.5 and an ultrasound time of 4 min. The highest cohesiveness was 1 in T2 at pH 2.5 and an ultrasound time of 4 min. It is concluded that factor A (pH), factor B (ultrasound pretreatment time), and the interaction of factors A and B (pH * ultrasound treatment time) significantly influence ($p < 0.05$) the hardness, fractality, and cohesiveness of plantain chips.

Keywords: plantain chips, snacks, pH, time, pretreatment, ultrasound, vacuum frying, physical characteristics, instrumental texture, hardness, fractality, cohesiveness.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

En Perú, el plátano es ampliamente consumido como componente de una alimentación balanceada; según información proporcionada por el INEI, en diciembre de 2018, la producción nacional de plátanos alcanzó las 91,884 toneladas; esta cifra representa un aumento del 8.5 % respecto al mismo período del año anterior; del total producido, la región de Cajamarca aportó el 5.2% (INEI, 2019).

La fritura al vacío consiste en cocinar alimentos a presiones más bajas que las atmosféricas en un sistema cerrado; esto disminuye la temperatura a la que hierve el agua y, por lo tanto, la temperatura necesaria para freír los alimentos; así, el agua presente en los alimentos se elimina de manera eficiente cuando el aceite alcanza la temperatura de ebullición del agua (Shyu et al., 2005); esta técnica no solo preserva el color y el sabor natural de los alimentos gracias a las bajas temperaturas y al reducido contenido de oxígeno, sino que también extiende la vida útil del aceite empleado (Liu et al., 2005).

Además, investigaciones han demostrado que el uso de ultrasonido (US) como pretratamiento de frutas puede crear micro canales en el tejido del plátano durante el proceso de ósmosis; este fenómeno optimiza la transferencia de masa entre la fruta y la solución osmótica, facilitando la absorción de miel y mejorando el valor nutricional y comercial del producto final (Laborde et al., 2020).

En este contexto, la fritura al vacío se posiciona como una técnica eficaz para producir chips de plátano con propiedades superiores; este método consiste en sumergir el alimento en aceite caliente dentro de un sistema cerrado y aplicar presión subatmosférica para disminuir la temperatura de fritura, logrando así un producto final de mayor calidad (Pillajo et al., 2019).

Es por ello que la presente investigación busca determinar el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características físicas de snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío.

1.1. Problema de investigación

Según Bautista (2019) en la sociedad peruana, es habitual el consumo de snacks, aunque muchos de estos productos suelen tener un bajo contenido nutricional y altos niveles de grasas saturadas y calorías vacías; esta situación ha impulsado a la industria a realizar modificaciones para hacerlos más saludables y naturales.

Alvídrez et al. (2022) han observado un aumento en la demanda de productos alimentarios saludables y funcionales en las últimas décadas, impulsado por un cambio en las preferencias de los consumidores hacia alimentos que ofrezcan beneficios adicionales para la salud. Narváez et al. (2022) enfatizan la importancia de los snacks en la ingesta diaria de alimentos y señalan que los snacks de plátano (*Musa x paradisiaca* L.) son apreciados por su valor nutricional, aceptación sensorial y versatilidad. Asimismo, Martínez et al. (2021) y Rubio (2014) han investigado técnicas como la fritura al vacío y el pretratamiento por ultrasonido para mejorar la calidad de los snacks, conservando los nutrientes y mejorando la textura.

La falta de información sobre cómo el pH y el tiempo de pretratamiento por ultrasonido afectan las características físicas del snack de plátano palillo limita la capacidad de los productores para optimizar el proceso y obtener productos de mejor calidad; esta carencia impide el desarrollo de prácticas óptimas que mejorarían la eficiencia y el valor nutricional del producto; por ello, es esencial investigar estos factores para mejorar la producción y satisfacer las demandas del mercado de snacks saludables e innovadores.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características físicas de snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío?

1.3. Objetivo general

- Determinar el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características físicas de snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío.

1.3.1. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características físicas de (dureza) en snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío.
- Determinar el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características físicas de (fracturabilidad) en snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío.
- Determinar el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características físicas de (cohesividad) en snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío.

1.4. Justificación de la investigación

En el ámbito de los snacks, Higuera y Prado Argoti (2013) indican que estos productos son diseñados como fuentes adicionales de energía y nutrientes, pero suelen tener perfiles nutricionales deficientes y alto contenido de grasa debido a métodos tradicionales como la fritura. Bautista (2019) menciona que, la industria se ha enfocado en mejorar la salud y la naturalidad de estos productos, explorando técnicas como la fritura al vacío, que preserva mejor el valor nutricional y evita la formación de compuestos perjudiciales como la acrilamida.

El uso del ultrasonido como pretratamiento previo a la fritura al vacío ha sido destacado por Robles (2012) como una innovación tecnológica en la industria alimentaria, mejorando la eficiencia y las propiedades sensoriales de los snacks. Esto responde al creciente interés por opciones alimenticias más saludables y atractivas para los consumidores, como menciona García (2023).

La investigación se centra en el plátano palillo, una variedad ampliada del plátano de seda, que es ampliamente consumida en Perú y valorada por su contenido de potasio, carbohidratos y vitaminas del complejo B (Cuba y Huicho, 2024). sin embargo, la información académica sobre sus características y procesamiento es limitada, lo que motiva este estudio para ampliar el conocimiento sobre esta fruta.

La investigación también considera la relevancia de optimizar las características texturales y nutricionales de los snacks de plátano palillo mediante estas técnicas avanzadas, lo que no solo podría reducir desperdicios y mejorar la eficiencia de producción (Bastidas, 2022), sino que también contribuiría al desarrollo de productos innovadores y sostenibles en respuesta a las demandas del mercado global.

En resumen, este estudio no solo busca profundizar en el conocimiento científico y tecnológico de los snacks saludables, sino también fomentar la innovación en la industria alimentaria, ofreciendo productos más nutritivos y atractivos que satisfagan las necesidades de los consumidores modernos y promuevan prácticas sostenibles en la producción alimentaria.

1.5. Hipótesis de la investigación

El pH y el tiempo de pretratamiento por ultrasonido influyen significativamente en las características físicas de snacks de plátano palillo freído al vacío.

CAPÍTULO II

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Campo et al. (2020), en su investigación *“Effect of pretrature with ultrasound in convention drying kinetics of bananas (Musa paradisiaca)”*. Con el objetivo de evaluar el efecto del pretratamiento con Ultra sonido (US) a razón de (40 KHz/130W/30°C /10, 20 y 30 min) en el secado convectivo a 60 °C / 2 m/s del banano (*Musa paradisiaca*). Se utilizó un modelo difusional para describir las cinéticas de secado y cuantificar la influencia del US en la difusividad efectiva de agua. Los resultados indicaron que el US incrementó significativamente ($p > 0.05$) la velocidad de secado en todas las muestras tratadas con una reducción promedio del 31 % en el tiempo de secado con respecto al tratamiento control; alcanzando una pérdida de peso del 77 % respecto del peso inicial (3.8 a 0.9 g.) *“Este antecedente nos sirvió para las referencias de los tiempos de ultrasonido”*

Díaz (2020) en su investigación *“Efecto de la deshidratación osmótica y ultrasonido como pretratamiento en el secado de batata morada (Ipomoea batatas L.) en un secador tipo túnel”*. Cuyo objetivo fue evaluar el efecto del ultrasonido y deshidratación osmótica como pretratamiento en el secado de batata morada (*Ipomoea batatas* L.). Los resultados indicaron que el tratamiento a 60 % de concentración de sacarosa con aplicación de US, fue el de mayor pérdida de peso en el menor tiempo, siendo este el tratamiento escogido para secar en túnel de secado. Láminas de batata de 4cmx4cmx1.5mm se secaron en túnel sin pretratamiento (1 y 2 m/s y 50°C, 60°C y 70°C) así como también aquellas láminas que recibieron el tratamiento de DO (60%) y US, con las mismas condiciones de secado, para establecer el mejor tratamiento que permitió maximizar la pérdida de humedad en el menor tiempo y mantener las propiedades de color del alimento, así como una mayor preferencia por el consumido *“Este antecedente nos sirvió de referencia para los tiempos de pretratamiento por ultrasonido”*

Ponce (2022) en su trabajo de investigación *“Evaluación de diferentes dosis de ácido cítrico y ascórbico en la actividad antioxidante de plátano (Musa paracisiaca) para la producción de snacks (chifle)”*. Con el objetivo de evaluar diferentes dosis de ácidos cítrico y ascórbico en la actividad antioxidante del plátano (*Musa paradisiaca*) para la producción de snacks (chifles). Los factores en estudio fueron: dosis de ácido cítrico y

dos de ácido ascórbico, ambos factores con tres niveles de 0,25 %, 0,50 % y 0,75 %; se aplicó un diseño por arreglo factorial 3 x 2 en DCA. Los resultados del análisis colorimétrico evidenciaron un efecto positivo en la inhibición del pardeamiento enzimático causado por la enzima polifenol oxidasa, siendo el tratamiento T8 el que logró una mayor luminosidad ($L^* = 65,30$) y un desplazamiento desde la zona amarilla - roja ($a^* = 24,47$; $b^* = 12,24$); con respecto a las variables de pH y acidez, el T5 fue considerado el que presentó mayor efecto en la inhibición del pardeamiento enzimático (0,2300 % de acidez y 6 de pH) “*Este antecedente nos sirvió para utilizar las concentraciones de ácido cítrico en los snacks de plátano palillo*”

Mallqui y Paredes (2022), en su investigación “Evaluación del deshidratado por vacío con tratamiento de ultrasonido en la actividad antioxidante de la gongapa (*Vaccinium meridionalis*)”. Con el objetivo de evaluar la actividad antioxidante de la gongapa (*Vaccinium meridionalis*) con pretratamientos de ultrasonido para luego secarlo al vacío. Se utilizó un diseño factorial de 3^2 obteniendo 9 con nueve tratamientos con tres potencias de ultrasonido (750 w, 1050 w y 1500 w) y tiempos de exposición (15, 25 y 35 minutos). Los resultados mostraron que las diferentes potencias de ultrasonido influyeron significativamente en la conservación de los compuestos bioactivos de la gongapa, siendo, los tratamientos T5 (Potencia de 1050 W por 25 minutos de sonicación), T7 (Potencia de 1500 W por 15 minutos de sonicación) y T9 (Potencia de 1500 W por 35 minutos de sonicación) los óptimos, debido a las mayores potencias y tiempos de aplicación “*Este antecedente nos sirvió para la utilización del ultrasonido en snacks*”

Rodríguez (2023) investigó el “*Impacto de la fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales de chips de banano pisang Mas*”. Con el objetivo de optimizar el proceso de fritura al vacío para producir chips de banano Pisang Mas. Se utilizó el diseño de superficie de respuesta para optimizaron el tiempo de freído, la temperatura y la velocidad de centrifugación para obtener hojuelas con buenas características sensoriales y nutricionales. Se midieron humedad, grasa, aw, color, textura y rendimiento de fritura. Los resultados indicaron que la grasa en los chips de banano se relaciona con la velocidad de centrifugación y la temperatura de freído; las condiciones óptimas fueron 121°C, 530 r.p.m., y 433 s de tiempo de fritura, resultando en chips con 17% de grasa, bajo aw (0.25) “*Este antecedente nos sirvió para determinar las características físicas en snacks de plátano*”

Perdomo (2017) en su investigación *“Efecto de tiempo de exposición al ultrasonido (40 khz) en las características fisicoquímicas, recuento de bacterias aerobias mesófilas y aceptabilidad general de la pulpa de mango (mangifera indica L.) variedad Edward”*. Con el objetivo de evaluar cómo el tiempo de exposición al ultrasonido a 40 kHz afecta el color, los sólidos solubles, el pH, la consistencia, el recuento de bacterias aerobias mesófilas y la aceptabilidad general de la pulpa de mango de la variedad Edward. Se evaluó cómo la duración de la exposición al ultrasonido, a 40 KHz, afectaba diversas características de la pulpa de mango Edward; se examinaron intervalos de 0, 15, 30, 45 y 60 minutos. Los resultados mostraron que el tiempo de exposición influía significativamente ($p < 0.05$) en todas las características estudiadas. La prueba de Duncan reveló que la exposición de 45 minutos produjo los mejores resultados en color (L^* , a^* y b^*), sólidos solubles (18.11%), pH (3.34), consistencia (5.11cm/30s) y recuento de bacterias aerobias mesófilas (1.69 ufc/g) *“Este antecedente nos sirvió para determinar las características físicas de snacks de plátanos palillo”*

Urbano et al (2019) en su investigación *“Evaluación del comportamiento de yuca (Manihot esculenta Cranz) en el proceso de fritura a vacío de chips”* determinó que los tratamientos de fritura al vacío afectan las propiedades mecánicas, ópticas y la absorción de aceite, teniendo parámetros de proceso en fritura al vacío de 100, 120, 130 y 140 °C., la investigación me permite establecer los parámetros de proceso de fritura al vacío además determinó color, textura y sonido, pérdida de peso, humedad y contenido graso *“Este antecedente nos sirvió para la utilización de los parámetros de fritura de los snacks”*

Bautista y Romero (2020) en su investigación *“Desarrollo de un prototipo de freidora a vacío y su influencia en el contenido de acrilamida en papas (solanum tuberosum) fritas”* se centró en desarrollar un prototipo de fritura de vacío compuesto por un recipiente de fritado, de una fuente de calentamiento a gas propano, una bomba de vacío y un sistema de condensación, para obtener papas fritas con bajo contenido de acrilamida a partir de papas de la variedad Canchan, evaluándose parámetros de presión de vacío (5, 10 y 15 kPa) y temperatura (110, 120 y 130 °C). *“Esta investigación me permitirá establecer los parámetros de proceso de presión y temperatura para fritura al vacío óptimos”*

Fernando y Albuja (2022) en su investigación *“Optimización Del Proceso De Elaboración De Snacks De Piña (Ananás comosus) Mediante La Combinación De Diferentes Condiciones De Pretratamiento Y Fritura Al Vacío”* evaluó estadísticamente el efecto de diferentes parejas de tratamientos de temperaturas y tiempos de fritura, obtenidos mediante un diseño experimental compuesto central rotacional 2 2 ; así como el efecto de distintos pretratamientos (deshidratación osmótica, congelación, recubrimientos comestibles y la combinación de los anteriores) sobre las características fisicoquímicas (color, textura instrumental, humedad, grasa, polifenoles, vitamina C y capacidad antioxidante) y sensoriales (sabor a fruta, aspecto visual, crocancia, sensación a grasa y presencia de sabores extraños) de los snacks procesado *“Esta investigación ayudara a establecer los parámetros de características físicas que debe tener un snack”*

Pillajo et al (2019) en su investigación *“Efecto de la Cocción y la Concentración de Sal como Pretratamiento de Chips de Mashua (Tropaeolum tuberosum) Obtenidos por Fritura al Vacío”* El objetivo fue estudiar el efecto de la cocción y de la concentración de sal en el proceso de cocción prefritura de chips de mashua aplicando fritura al vacío. Se utilizó un Diseño Central Compuesto, donde las variables independientes fueron: el efecto del tiempo de cocción (0–15 8 min) y la adición de sal (0–1.25%). Las variables dependientes fueron: humedad, grasa, acidez titulable y textura, donde tuvo como tratamiento óptimo se escogió la muestra con 7.5 min de cocción y 0.63% de sal. *“La investigación me ayudará en los parámetros de concentración de cloruro de sodio”*

Avalos (2024) en su investigación *“Influencia del secado previo y del tiempo de fritura en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de rebanadas de papa (Solanum tuberosum) frita variedad huevo de indio”* nos dice que trabajo con tres tiempos de fritura diferentes a una temperatura estable (190 °C, 2 min; 190 °C, 2.15 min y 190 °C, 2.30 min) *“Esta investigación permitió establecer una temperatura óptima de freido de los snacks”*

Herrera (2022) en su investigación *“Elaboración de rodajas de camote (Ipomoea batatas) aplicando fritura al vacío”* nos dicen que realizaron la fritura al vacío que efectuó a 110 y 120 °C, a 7.7 KPa de presión, durante 10, 12 y 14 minutos. En las rodajas fritas de camote se determinó contenido de humedad, extracto etéreo, cenizas, fibra, proteína, elementos libres de nitrógeno y 9 fuerza de ruptura/crocancia. Donde tuvo las rodajas de camote de mayor aceptabilidad fueron las obtenidas a 110 °C durante 12 minutos *“Esta investigación permitirá establecer los parámetros más óptimos para el proceso de fritura y también las características óptimas de los snacks”*.

Villamizar y Quiceno (2022) en su investigación *“Efecto del proceso de fritura a vacío sobre la calidad de un pasaboca de mango (Manguifera indica L)”* nos dicen que utilizaron vacío sobre una pasta elaborada con ese fruto, donde aplicaron diferentes presiones de vacío (0.4, 0.5, 0.6 bar), temperaturas (100, 110 y 120 °C) y tiempos (30, 45, 60, 75 y 90 seg), teniendo como mejor que trabajando con 0,5 bar de presión, 110 °C de temperatura y 90 segundos de inmersión se obtiene un mejor producto *“La investigación me ayudará en establecer parámetros óptimos para el proceso de fritura”*

Mora y Suarez (2020) en su investigación *“Elaboración de chifles de plátano verde (Musa paradisiaca) enriquecidos con polvo de cúrcuma (Cúrcuma longa) como ingrediente antioxidante”* nos dice que en la etapa de pre tratamiento realizó la inmersión en bandejas de acero inoxidable de las rodajas de plátano en una solución de cloruro de sodio por un tiempo de 60 minutos *“Esta investigación nos ayudará establecer el tiempo de fritura que aplicaremos en los snacks de plátanos palillo”*

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Plátano

Ponce (2022) señala que el plátano es clasificado como una planta herbácea perteneciente a la familia Musaceae; las variedades que se cultivan suelen desarrollar alrededor de 30 hojas que cumplen funciones específicas, entre las cuales se encuentran aquellas responsables de la producción de los frutos. El plátano ocupa el cuarto lugar entre los cultivos más relevantes a escala global, gracias a su estatus de producto básico y su notable potencial de exportación; en el mercado internacional, se le considera una fruta exótica y étnica; su consumo es extenso, sirviendo frecuentemente como acompañamiento en comidas principales; además, es un ingrediente esencial en la elaboración de chifles, un aperitivo que goza de gran popularidad en determinadas zonas geográficas (Villegas et al., 2015).

El plátano es un alimento de amplio consumo en Ecuador, apreciado por personas de todos los grupos etarios debido a su contenido de carbohidratos complejos. Lo que distingue al plátano verde de otros alimentos ricos en almidón, como la batata o la papa, es la presencia de almidones retrogradados. Estos actúan en el organismo de manera similar a las fibras digestibles, con la ventaja adicional de tener bajo contenido de azúcar y carecer de grasas y proteínas (Colmenares et al., 2018).

2.2.1.1. Características del plátano

Según Sicchar (2022) el plátano palillo, científicamente conocido como *Musa acuminata*, posee una serie de atributos distintivos propios de su fruto; estas características son intrínsecas a esta variedad específica de plátano:

- **Forma:**

Alargada y ligeramente curvada.

- **Tamaño y peso:**

Por lo general, los plátanos machos son más grandes, pesando en promedio 200 gramos o más por unidad; el bananito, por otro lado, es mucho más pequeño y pesa entre 100 y 120 gramos.

- **Color**

El color de la piel del plátano puede variar entre amarillo, amarillo verdoso, amarillo-rojizo o rojo; el plátano macho tiene una piel gruesa de color verde y una pulpa blanca; el bananito, por su parte, tiene una piel fina de color amarillo y una pulpa color marfil.

- Sabor

El plátano y el bananito se destacan por su sabor dulce, intenso y aromático; en contraste, la pulpa del plátano macho tiene una consistencia harinosa y su sabor no es dulce, ya que contiene pocos carbohidratos simples, a diferencia de otros plátanos que se consumen crudos.

2.2.1.2. *Contenido nutricional del plátano*

El plátano es una fuente rica en vitaminas A, B2, B6, B12 y C, así como en minerales como calcio, potasio y manganeso; también contiene carbohidratos, proteínas y grasas. Su alto contenido de taninos y fibra vegetal beneficia el sistema digestivo y se utiliza en la medicina para aliviar problemas gastrointestinales; además, es un importante proveedor de potasio, fosfato y magnesio, proporcionando una potencial fuente de energía al organismo a través de calorías (Sicchar, 2022).

El plátano tiene un alto valor calórico debido a su significativo contenido de carbohidratos; entre sus nutrientes específicos se encuentran el potasio, esencial para la transmisión y generación de impulsos nerviosos y la actividad muscular normal, además de mantener el equilibrio de agua dentro y fuera de las células; también contiene magnesio, que forma parte de huesos y dientes, ayuda al funcionamiento de músculos, intestinos y nervios, y refuerza la inmunidad; el ácido fólico del plátano participa en la producción de glóbulos rojos y blancos, la formación de anticuerpos del sistema inmunológico y la síntesis de material genético, ayudando a prevenir anemias y espina bífida durante el embarazo; además, el plátano contiene compuestos astringentes y tiene un alto contenido de fibra (Sicchar, 2022).

2.2.1.3. *Composición química del plátano*

De acuerdo con Oliveira et al. (2007) el plátano tiene un porcentaje de humedad de 70 a 74%, 1% de proteínas, 0.3 a 0.5% de lípidos, 20 a 30% de carbohidratos totales, 0.5% de fibra total, 1% de cenizas, y un contenido energético de 4 Kcal/g.

La composición química del plátano varía según factores como el estado de madurez de la fruta (verde o madura), las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas. Además, el plátano tiene un contenido moderadamente alto de piridoxina (vitamina B6), y las vitaminas A (caroteno), B (niacina, tiamina, riboflavina y B6) y C (ácido ascórbico) se encuentran en diferentes concentraciones en el plátano maduro (Marca, 2023).

Tabla 1***Composición química del plátano***

Contenido	Cantidad
Proteínas	1.1 g.
Energía	89.0 Kcal
Sodio	1.0 mg
Hidratos de carbono	121.8 g.
Hierro	0.40 mg
Magnesio	30.0 mg
Cobre	0.11 mg
Vitamina C	11.7 mg
Niacina (vitamina PP)	610 mg.
Tiamina (vitamina B1)	40 mg
Ácido fólico	23.0 mg
Calcio	8.0 mg
Potasio	385.0 mg

Nota. La tabla muestra la composición química del plátano, tomado de Marca (2023).

2.2.1.4. Variedades de plátanos peruanos

El plátano, conocido científicamente como *Musa paradisiaca*, un nombre que evoca connotaciones poéticas en el ámbito botánico, es uno de los frutos más populares en nuestro territorio nacional; se consume en la zona amazónica, donde constituye un elemento básico de la alimentación cotidiana; de gran diversidad en cuanto a su morfología y características organolépticas: se encuentran variedades de gran tamaño y forma puntiaguda, así como otras más pequeñas y redondeadas; en cuanto a su sabor y textura, el abanico es igualmente amplio, abarcando desde ejemplares astringentes hasta otros de textura sedosa, y con sabores desde dulce hasta ácido o amargo (Romero, 2016).

- **Plátano bellaco:** De regiones cálidas, a menos de 1300 m.s.n.m. Es la variedad más grande, su tamaño es 30-40 cm. cuando está verde se utiliza en chifle salado y cuando está maduro se emplea en chifle dulce, y combinado es ideal para el tacacho de la Amazonía (Romero, 2016).

Figura 1

Plátano bellaco



Nota. Se observa la imagen del plátano bellaco, obtenida de Romero (2016).

- **Plátano bizcocho:** Consumido en la región amazónica, de tamaño pequeño (4-10 cm) cuando está maduro su cáscara es amarilla con manchas negras y su pulpa es dulce. Se utiliza en snacks, postres, se dorado con mantequilla por su tendencia a la caramelización, es apreciado por su versatilidad culinaria (Romero, 2016).

Figura 2

Plátano bizcocho



Nota. Se observa la imagen del plátano bizcocho, obtenida de Romero (2016).

- **Plátano de isla:** De forma angulosa, mide entre 15 y 30 cm, su cáscara es amarilla y se oscurece rápidamente a medida que madura, puede mantenerse en buen estado durante varios días; la pulpa varía entre rosada y naranja; se puede comer crudo o frito, se consume ligeramente verde o maduro y meloso (Romero, 2016).

Figura 3

Plátano de isla



Nota. Se observa la imagen del plátano, obtenida de Romero (2016).

- **Plátano manzano:** Se asemeja al tipo bizcocho, pero es más compacto y robusto, como un pequeño barril, su tamaño oscila entre 7 y 15 centímetros de longitud; su sabor combina lo dulce con un ligero toque de acidez, parecido al sabor de las manzanas, se consume en su estado natural, sin cocinar; pero también frito o en diversos postres (Romero, 2016).

Figura 4

Plátano manzano



Nota. Se observa la imagen del plátano manzano, obtenida de Romero (2016).

- **Plátano palillo:** Es la versión más grande del plátano de seda, de tamaño entre 20 y 25 cm; su cáscara es amarilla con manchas negras, y su pulpa tiene un tono ligeramente rosa; es ideal para frituras, acompañando platos salados, aunque también se puede comer crudo (Romero, 2016).

Figura 5

Plátano palillo



Nota. Se observa la imagen del plátano palillo, obtenida de Romero (2016).

- **Plátano rojo:** Variedad poco conocida, destaca por su exquisito sabor; comparte similitudes con el plátano palillo, pero se distingue en su cáscara de un llamativo color carmesí y sus dimensiones más reducidas; su pulpa tiene un sutil tono anaranjado, se disfruta en estado natural, o también sometido a un proceso de fritura (Romero, 2016).

Figura 6

Plátano rojo



Nota. Se observa la imagen del plátano rojo, obtenida de Romero (2016).

- **Plátano de seda:** Es el plátano de mayor consumo en la costa, de piel amarilla con manchas a medida que madura y pulpa blanca, mide entre 20 y 30 cm de largo, y se consume crudo o frito, acompañando platos salados y en repostería (queque de plátano) (Romero, 2016).

Figura 7

Plátano de seda



Nota. Se observa la imagen del plátano de seda, obtenida de Romero (2016).

2.2.2. Snack

La Norma Técnica Peruana 209.226:2023, que regula los bocaditos de cereales, leguminosas y granos andinos, exige que los snacks fritos, tostados, extruidos y expandidos se elaboren con materias primas libres de impurezas y sustancias perjudiciales para la salud; además, establece que estos productos deben tener una apariencia adecuada, con buen color, sabor, olor y textura característicos; esta normativa busca asegurar tanto la inocuidad como la calidad sensorial de los bocaditos en el mercado peruano, estableciendo estándares claros para su fabricación y presentación.

Un snack es un producto alimenticio de consumo inmediato, frecuentemente rico en grasas y caracterizado por su sabor dulce o salado; su propósito principal es satisfacer temporalmente el apetito y proporcionar un aporte energético; si bien existe la percepción generalizada de que los snacks suelen ser poco saludables, es importante señalar que también hay opciones nutritivas y ventajosas en el mercado, las cuales se distinguen por contener ingredientes de origen natural. Los chifles son una variedad de bocadillos salados que se obtienen al freír en aceite vegetal finas rodajas de plátano verde; este snack goza de gran popularidad, especialmente en la zona septentrional del país Saldívar (2016).

Goodman (2021) define a los snacks como alimentos de tamaño pequeño, pueden ser sólidos o líquidos y requieren poca o ninguna preparación, su finalidad es saciar el hambre que se produce entre comidas y aportan nutrientes, proteínas, calorías, fibra, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales. Los snacks de plátano verde, llevados a fritura en aceite vegetal, que anteriormente han pasado por un proceso de selección hasta transformarlos en rodajas o chips, con características crocantes, salados y/o maduros siendo muy tradicionales en Perú, en el que se adicionan sal, saborizantes, colorantes, que tienen varios diseños de presentación y regularmente son empacados.

2.2.2.1. *Características de un snack*

Según Hurtado (2001) la cualidad más importante de un snack es su textura crujiente, lograda al reducir el contenido de agua; el color, que debe parecerse al del producto en su estado natural, es el siguiente atributo en importancia; la combinación adecuada de tiempo y temperatura durante la elaboración es crucial para mejorar el atractivo del producto final, y la temperatura puede variar según el tamaño y el nivel de humedad del alimento.

Según Tavera et al. (2015), los alimentos fritos retienen parte de la grasa utilizada en su preparación, lo que incrementa su valor calórico debido a la absorción de lípidos. Para optimizar este proceso, se recomienda freír a 180°C, lo que facilita la rápida evaporación del agua superficial y forma una capa protectora que preserva los nutrientes. Esta técnica equilibra la textura deseada con la retención de las propiedades nutricionales del alimento, destacando la importancia de controlar la temperatura durante la fritura para obtener un producto final de calidad.

Según Fellows et al. (2000) la textura crujiente de los alimentos fritos resulta de cambios en proteínas y carbohidratos, inducidos por el calor de la fritura y la pérdida de agua por evaporación; estos procesos forman una capa exterior crujiente que da al alimento su textura distintiva.

Sahin (2000) indica que el color dorado de los productos fritos es un indicador clave de calidad y aceptación del consumidor; este color resulta de factores como tiempo, temperatura, tipo de aceite, y las propiedades del alimento, como tamaño y condiciones de almacenamiento; estos elementos influyen en el color final, afectando la percepción de calidad y atractivo del producto frito.

Según el Ministerio de Salud (MINSA) et al. (2017) los bocadillos deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos de calidad según la tabla peruana de composición de los alimentos: deben presentar un color característico de la materia prima original, tener una textura crujiente, no mostrar superficies quemadas, no ser excesivamente grasientos, y estar libres de rancidez, amargor y otros olores y sabores desagradables.

2.2.2.2. Valor nutritivo de un snack

La calidad nutricional de los alimentos fritos depende de la cantidad de grasa absorbida durante su preparación; para minimizar la absorción de grasa y preservar los nutrientes, se recomienda sumergir el alimento en aceite caliente (180 °C), lo que reduce rápidamente el agua en la superficie y crea una capa protectora que limita la absorción de grasa (Santillan, 2022).

Existen estudios que ayudan a determinar las características nutricionales de los productos tipo snacks, sin embargo, no se puede afirmar con seguridad cual es la verdadera contribución de estos alimentos a la salud de los consumidores (Guy y Ribas 2022). A continuación, se considera un estudio acerca del aporte nutricional de bocaditos y su consumo

Tabla 2

Composición química de los snacks

Parámetros	Papas fritas chips corte americano	Papas fritas chips corte liso	Galletas horneadas con chispas de chocolate	Chips de maíz
Humedad (g/100g)	2.3±0.2	2.4±0.1	2.0±0.1	1.7±0.08
Ceniza (g/100g)	3.9±0.1	3.4±0.3	1.2±0.1	2.3±0.2
Proteína (g/100g)	5.6±0.3	6.4±0.3	6.2±0.3	7.0±0.1
Grasa (g/100g)	31.1±1.2	29.7±1.7	23.9±1.0	22.7±1.2
Fibra dietaria total (g/100g)	4.5±0.2	4.0±0.08	2.1±0.2	3.9±0.3
Hidratos de carbono disponibles (g/100g)	52.6±1.7	54.1±2.0	64.6±1.4	62.4±1.0

Nota. En la tabla se observa la composición química de los snacks, tomado de Zamorano et al. (2020).

2.2.2.3. *Vida útil de los snacks*

La vida útil de un snack puede variar de dos a tres meses para frituras, como las papas chips, o de tres días en el caso de los panecillos. Para alargar la vida útil de los snacks, se usan empaques que eviten el paso de la luz y del oxígeno, como el polipropileno. En caso de tentempiés de rápido consumo, se pueden usar materiales como polietileno o papel (Costa y Oliveira, 2019).

A continuación, se presentan dos tipos más comunes de enranciamientos en un snack:

- **Enranciamiento de la grasa** para snacks fritos, todas las grasas son sujetas a deteriorarse por el enranciamiento hidrolítico y oxidativo, lo cual lleva a la formación de olores y sabores desagradables en el alimento. Para minimizar el desarrollo de tal rancidez, el producto debe estar protegido del oxígeno, luz y trazas de iones metálicos.
- **Pérdida de la textura (crocancia)** para snacks fritos y deshidratados La crocancia es una característica de la textura sobresaliente de los productos Snacks y su pérdida se debe a la absorción de humedad; esta es la causa principal del rechazo de los snacks por parte de los consumidores.

2.2.2.4. *Requisitos de un snack*

a) Características organolépticas

- Olor: será el característico del producto.
- Sabor: será el característico del producto.
- Textura: la crocantez característica del producto.
- Color: será el característico del producto.

b) Características fisicoquímicas

La Norma Técnica Peruana 209.226:2023 nos dice que el producto no debe presentar síntomas de rancidez, sabores, colores u olores que indiquen su descomposición.

2.2.2.5. *Tipos de snacks*

El mercado de snacks se caracteriza por su gran diversidad, ofreciendo una amplia gama de productos que incluyen opciones saladas como papitas fritas y galletas, dulces como chocolates y pasteles, productos naturales como frutas y barras de cereal, golosinas como chicles y caramelos, y también productos de panadería y helados; esta variedad

permite satisfacer diferentes gustos y necesidades de los consumidores, proporcionando opciones para casi cualquier preferencia o situación de consumo (Mondelez International, 2019).

Según ProChile (2011) el mercado de snacks se divide en dos categorías principales: snacks salados y snacks saludables; los snacks salados incluyen chips, frutos secos, aperitivos de carne o queso, opciones congeladas y productos horneados; los snacks saludables comprenden tortitas de arroz o maíz, palitos de pan con diversos ingredientes, barritas de cereales y productos hechos de frutas o verduras secas o deshidratadas; esta clasificación muestra la diversidad del mercado, ofreciendo tanto opciones tradicionales como alternativas más saludables para satisfacer diversas preferencias de los consumidores.

2.2.2.6. *Clasificación de los snacks*

Según la Norma Técnica Peruana “NTP 209.226:2023” se clasifican en:

- a. Por su sabor se clasifica en:
 - Salados
 - Dulces
 - De sabores especiales
- b. Por el proceso de elaboración:
 - Fritos
 - Extruídos

- **Snacks fritos**

Los alimentos fritos son populares en todo el mundo por su facilidad de preparación y consumo; su atractivo se debe a su apariencia, sabor y portabilidad; la fritura les otorga características especiales como aroma, sabor, textura y color; sin embargo, el color y la textura finales dependen del tiempo y la temperatura de fritura y de la calidad del aceite utilizado (Santillan, 2022).

- c. **Características de los snacks fritos**

La fritura es un proceso químico complejo que cocina los alimentos a altas temperaturas (170-190 °C) para una cocción rápida; durante la fritura, las proteínas de la superficie se coagulan, formando una capa impermeable que retiene la humedad interna; esto preserva las características sensoriales y mejora el color, la apariencia y la textura del alimento, resultando en un producto aceptable en poco tiempo (Santillan, 2022).

- **Snack de plátano**

Del Rosario (2018) describe el chifle como un aperitivo salado hecho de finas rodajas de plátano verde fritas en aceite vegetal caliente; la elaboración incluye la adición de sal, azúcar, saborizantes, colorantes y otros aditivos, ya sea durante o después de la fritura, resultando en un snack crujiente y sabroso típico de ciertas cocinas regionales.

Altez et al. (2020) describen el chifle como un bocadillo típico peruano hecho principalmente con plátanos verdes de la variedad bellaco, común en Piura y popular en todo el país; su elaboración consiste en cortar los plátanos en rodajas de 1 a 1.5 cm, freírlas en aceite vegetal a 150°C durante 3 a 5 minutos hasta que adquieran un color amarillo, y luego dejarlas enfriar por dos horas; este método produce un aperitivo crujiente, característico de la gastronomía regional peruana.

Figura 8

Snack de plátano



Nota. Se observa una imagen de snacks de plátano, obtenida de Altez et al. (2020).

2.2.2.7. Formas de procesamiento del snack de plátano

Cárdenas (2001) describe los chifles como un aperitivo crujiente y sabroso, elaborado principalmente con plátano verde frito, aunque también existe una versión dulce con plátanos maduros. Este proceso añade valor a la producción agrícola del plátano y proporciona un alimento energético. La elaboración de chifles transforma un producto agrícola básico en un snack popular, diversificando la industria alimentaria y ofreciendo opciones tanto saladas como dulces para diferentes preferencias.

2.2.2.8. *Descripción del proceso para la obtención de un snack:*

- **Recepción de la materia prima:** Se reciben los plátanos, procediéndose a realizar una inspección de peso para determinar porcentaje de rendimiento (Santisteban, 2019).
- **Selección y clasificación:** Se separan los plátanos sanos de los que tienen defectos, separando aquellos que estaban con daños, con el fin de no ocasionar daños en la calidad del producto final y para obtener una muestra experimental de buena calidad (Santisteban, 2019).
- **Lavado y desinfectado:** En esta etapa se elimina la carga microbiana presente en la superficie de los plátanos, se inmergieron dentro de una solución desinfectante de hipoclorito de sodio al 1 % durante 3 minutos en una tina de acero inoxidable, donde posteriormente se enjuagó 2 veces más con abundante agua (Santisteban, 2019).
- **Pelado:** Se retira toda la cáscara de los plátanos y se realizó un segundo pesado para determinar el rendimiento (Melo, 2019).
- **Cortado:** Los plátanos se cortaron en rodajas, con la ayuda de un rallador manual graduado a una abertura de 1.5 ± 0.1 mm (Gomez, 2014).
- **Inmersión en solución de cloruro de sodio:** Se sumergen en solución de cloruro de sodio de 3, 4, 5 % a temperatura ambiente, por 60 minutos, con agitación ocasional (Gomez, 2014).
- **Secado:** Se secarán manualmente, utilizando toallas de papel absorbente antes de freírlas (Gomez, 2014).
- **Fritura:** Se realizará el proceso de la fritura al vacío, aquí las rebanadas del grupo experimental y control serán sumergidas en aceite en proporción de 1:4 (peso del producto/ peso del aceite) (Montero Pérez 2015). Las hojuelas de plátano se freirán con aceite vegetal con una temperatura de 120 °C para todas las muestras y presiones de 5, 10, 15 inHg con tiempo óptimo de 10 minutos (Santisteban, 2019).

- **Escurrir y enfriar:** El aceite se retirará mediante unas rejillas de canastilla metálicas de la olla freidora. Esto se realizará con el único fin de retirar el excesivo aceite y poder mejorar su presentación. Se enfriaron poniendo las hojuelas recién fritas en un papel absorbente en una mesa de acero inoxidable limpias completamente a temperatura ambiente por 15 minutos (Santisteban, 2019).
- **Empacado:** Las hojuelas ya fritas serán envasadas en bolsas de polietileno. El producto final será colocado en la bolsa y sellado herméticamente, para quitar menor cantidad de O₂ dentro de ella, y evitando su degradación (Santisteban, 2019).
- **Almacenado:** Las hojuelas de plátano frito en su empaque de polietileno se almacenan a temperatura ambiente (20 °C) hasta su análisis (Santisteban, 2019).

2.2.2.9. *Características texturales de un snack*

- **Textura:**

El estudio y conocimiento de la textura como propiedad física de los alimentos es una de las características más importantes que indican su calidad y determinan su aceptabilidad. Además de ser un factor importante en las preferencias de los consumidores, se puede medir mediante pruebas e instrumentos sensoriales. Los alimentos tienen diferentes características estructurales dependiendo de la variedad, grado de madurez y métodos utilizados en el proceso, este parámetro es difícil de definir porque es una característica subjetiva (Simbaña, 2021).

- **Dureza:**

Se describe como la fuerza máxima durante un período de tiempo, durante el primer período de compresión. La resistencia a la rotura es la fuerza mínima aplicada durante el primer ciclo de compresión debido a la alta dureza y la baja cohesión. La dureza de los alimentos al romperse o desmoronarse se evalúa y generalmente está directamente relacionada con la textura crujiente y el contenido de humedad de los productos; A medida que aumenta el contenido de humedad, el producto se vuelve más sólido, lo que dificulta que la aguja penetre en el analizador de textura, lo que se evidencia por un aumento en la resistencia máxima y, en consecuencia, un aumento en la dureza (Pillajo, Bravo Vásquez, et al., 2019).

- **Crujencia:**

La crujencia de los snacks se refiere a la textura crujiente o crujidos que tienen cuando se muerden o mastican; esta característica se debe a la forma en que están hechos los snacks y a la estructura de sus ingredientes; los snacks crujientes suelen ser populares porque muchas personas disfrutan de la sensación de crujir al comer, la crujencia puede variar dependiendo del tipo de snack, como papas fritas, galletas, o cualquier otro alimento que tenga esta textura (Melo, 2019).

- **Cohesividad:**

La cohesividad en las características texturales de los alimentos se refiere a la capacidad que tiene un alimento de mantenerse unido o adherirse entre sí durante la masticación. Es un aspecto importante que influye en la percepción sensorial y la experiencia al comer. La cohesividad está relacionada con factores como la viscosidad, la elasticidad y la consistencia del alimento, y puede variar dependiendo de su composición y procesamiento (Pillajo Garcia, 2019).

- **Fracturabilidad:**

Cazzaniga (2019) nos dice que la fracturabilidad (originalmente llamada fragilidad) define como la fuerza en la primera ruptura significativa en la curva TPA. También nos resalta que la fragilidad, el crujido y el desmoronamiento, que son un concepto similar, se pueden medir como la facilidad con que se fractura el material bajo una carga de compresión creciente; en general, cuanto menor sea la deformación bajo una carga dada, menor será la cohesión y mayor será la capacidad de fractura del producto. Las unidades de medida son kg, g o N.

- **Adherencia:**

Cazzaniga (2019) nos dice que la adherencia se define como el área de fuerza negativa para el primer bocado y representa el trabajo requerido para superar las fuerzas atractivas entre la superficie de un alimento y la superficie de otros materiales con los cuales el alimento entra en contacto, es decir, la fuerza total necesaria para tirar del émbolo de compresión alejado de la muestra.

2.2.3. Pre tratamiento

Los pre tratamientos son métodos de tipo físico o químico que se emplean antes de procesar los alimentos para conservar sus características organolépticas y mejorar el resultado final del producto. Entre los más usados se pueden citar el escaldado, la

congelación, la deshidratación, la concentración y la pasteurización (Vanaclocha y Requena, 2003).

2.2.4. *Aplicación de tratamientos en la fritura al vacío*

Cazar (2015) destaca la importancia de los tratamientos pre y pos fritura en alimentos, especialmente en la fritura al vacío; estas técnicas complementarias tienen múltiples beneficios: reducen la absorción de aceite, mejoran las propiedades físicas y mecánicas del producto, y realzan sus características sensoriales como color, aroma y textura; la versatilidad de estos métodos permite su aplicación individual o combinada, adaptándose a las necesidades específicas de cada producto o proceso de fritura; estas técnicas son fundamentales para obtener alimentos fritos de alta calidad con menor contenido graso y mejores propiedades organolépticas; estas técnicas son: Escaldado, inmersión, congelación, descongelación, osmosis, centrifugación, ultra sonido y secado con aire caliente.

2.2.5. *Inmersión en soluciones ácidas*

Las soluciones de ácido cítrico o ascórbico se utilizan generalmente para mejorar la calidad, mediante la reducción del pH a un valor de 3, y con ello inhibir la enzima polifenoloxidasas (PPO) y al mismo tiempo disminuir la tasa de pardeamiento enzimático, además de favorecer a la textura y mantener estables a las betalainas y antocianinas (Santillan, 2022).

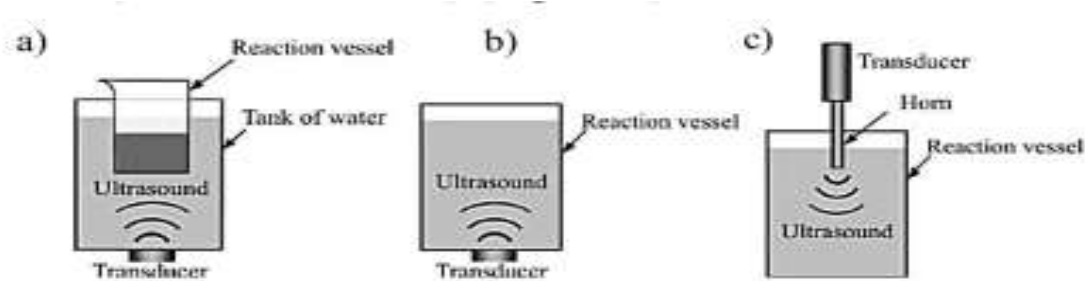
2.2.6. *Ultrasonido*

Delgado (2011) describe el ultrasonido como ondas sonoras con frecuencias superiores a las audibles por el oído humano, operando entre 16 KHz y 20 MHz, y alcanzando hasta 5 MHz en gases o 500 MHz en líquidos y sólidos; esta tecnología emergente ha ganado relevancia en la industria alimentaria por sus múltiples aplicaciones: inactivación microbiana y enzimática, control de calidad, evaluación de propiedades alimentarias (textura, composición, viscosidad), desarrollo de técnicas de análisis no invasivas y determinación de homogenización en lácteos; su capacidad para destruir paredes y membranas biológicas lo hace prometedor para eliminar microorganismos a temperaturas más bajas que la esterilización convencional y como complemento de otras tecnologías de procesamiento como extracción, altas presiones y pasteurización; el ultrasonido se clasifica en dos tipos según su intensidad: baja y alta, cada uno con

aplicaciones específicas en la industria alimentaria, detalladas en una tabla referenciada en el texto original.

Figura 9

Tipos de ultrasonidos



Nota. Se observan en la figura los tipos de métodos principales de irradiación de los ultrasonidos: a) y b) indirecto y c) directo. Los principales sistemas comerciales de aplicación de ultrasonidos en medio líquido son los baños de ultrasonidos (sonicación indirecta) y los sistemas tipo sonda (sonicación directa). obtenida de Powerultrasonics (2017).

Tabla 3

Intensidad del ultrasonido para diferentes procesos.

Alta Intensidad (18 – 100 kHz)	Baja Intensidad (>100kHz)
Procesamiento o estabilización de alimentos.	Diagnóstico, control de calidad,
Rompimiento celular Alta Intensidad 18-100kHz.	fenómenos de relajación.
Procesamiento o estabilización de alimentos	Ecografías
Ultrasonido Permeabilización la de membrana	Aplicaciones terapéuticas
celular Cambios estructurales y Físicoquímicos.	
Homogenización de emulsiones.	

Nota. Se describe en la tabla la intensidad del ultrasonido para diferentes procesos, tomado de Delgado (2011).

2.2.6.1. Ultrasonido en procesamiento de alimentos

La tecnología del ultrasonido (US) ha sido empleada en diferentes investigaciones de la industria de alimentos y existe un gran interés en ella, debido a que se puede aplicar de forma práctica, con equipo seguro y, sobre todo, puede considerarse ambientalmente sustentable; la aplicación de US se puede dar de tres maneras: aplicación directa al producto, acoplada a un dispositivo o sumergido en un baño ultrasónico (Chemat et al.,

2011). clasifica en aplicaciones de alta y baja energía. Las aplicaciones de baja energía tienen intensidades menores a 1 W/cm^2 y frecuencias superiores a 100 kHz, mientras que las de alta energía tienen intensidades superiores a 1 W/cm^2 y frecuencias entre 18 y 100 kHz (Robles y Ochoa, 2012).

Para la aplicación de la tecnología de ultrasonido en procesos alimentarios, es esencial considerar la energía del campo sonoro generador, la cual se mide por la potencia e intensidad del sonido o la densidad de energía sonora. El ultrasonido se clasifica en aplicaciones de alta y baja energía. Las aplicaciones de baja energía tienen intensidades menores a 1 W/cm^2 y frecuencias superiores a 100 kHz, mientras que las de alta energía tienen intensidades superiores a 1 W/cm^2 y frecuencias entre 18 y 100 kHz (Robles y Ochoa, 2012).

2.2.7. Fritura

La fritura es uno de los métodos más antiguos y comunes en el procesamiento de alimentos. Este proceso implica la inmersión del alimento, ya sea crudo o cocido, en aceite o grasa caliente a altas temperaturas y presión atmosférica. La fritura es un proceso fisicoquímico complejo que involucra una rápida transferencia de calor, donde la superficie del alimento se calienta rápidamente y el agua presente en su superficie se evapora en forma de vapor (Santillan, 2022).

- Fritura atmosférica

La fritura atmosférica es también conocida como fritura por inmersión o profunda, el alimento se cocina por medio de la transferencia de calor directa desde el aceite caliente al alimento; cuando un alimento es introducido en el aceite caliente la temperatura de este baja, la humedad superficial del alimento se vaporiza inesperadamente, en tanto el agua en el interior se difunde hacia la superficie, finalmente pasa a la fase de vapor y dirigirse a través del aceite de fritura al ambiente externo (Santillán, 2022).

- Fritura al vacío

La fritura al vacío es un método de cocción de alimentos que se realiza bajo presiones subatmosféricas, lo que reduce el punto de ebullición del agua en los alimentos. Esto permite que los compuestos termosensibles, como vitaminas y antioxidantes, no se alteren ni se eliminen durante la fritura. En este proceso, las temperaturas utilizadas oscilan entre los $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que contribuye a prolongar la vida útil del aceite debido a la ausencia de aire y luz (Santillán, 2022).

2.2.7.1. *Etapas de la fritura al vacío*

Según Santillan (2022) puede dividirse en 4 etapas principales:

- **Despresurización**

Las rodajas de papa se colocan en el espacio superior del recipiente y se espera a que la presión descienda a 1.33 KPa, lo cual puede tardar entre 90 y 100 segundos antes de iniciar la segunda etapa.

- **Fritura por inmersión**

Esta fritura por inmersión dura aproximadamente 6 minutos, dependiendo del tipo de papa, tamaño de las rodajas y temperatura de fritura (inferior a 140°C). Durante este proceso, el calor se transfiere del aceite al producto, evaporando el agua y permitiendo una ligera absorción de aceite. Al finalizar, las rodajas se retiran del aceite.

- **Presurización**

Proceso de centrifugación de aceite dentro del equipo.

- **Enfriamiento**

Se finaliza con la cuarta etapa, rompiendo el vacío y el sistema recupera la presión atmosférica, tardando alrededor de un minuto.

2.2.8. *Textura*

El estudio de la textura empezó a mediados del siglo XIX y a principios del XX donde varios científicos fueron capaces de desarrollar instrumentos simples para sus ensayos con alimentos. Pero fue hasta 1950, cuando se empieza a considerar la textura como un tema científico propiamente dicho. Actualmente el campo de estudio dispone de principios desarrollados, conocimientos, etc. y se considera la textura como atributo de calidad positivo excelente para la preparación de alimentos y que contribuye al placer de comer (Rolle, Siret, Río-Segade y Maury, 2022).

La textura es un atributo multivariable y para poder entenderla es importante definir las propiedades texturales, así como sus magnitudes, lo cual no resulta tarea sencilla. Por tanto, es necesaria una nomenclatura internacional estándar para asegurar que todas las investigaciones llevadas a cabo en diferentes países se refieren a las mismas propiedades.

Las complicaciones para esta estandarización surgen porque algunas palabras al realizar su traducción a otra lengua no siempre son equivalentes, es decir, se usa otra palabra distinta. Una de las pioneras en el desarrollo de la definición de las propiedades

de textura basado en propiedades físicas fue la antes citadas Szczesniak, quién intentó clasificar las propiedades mecánicas de la textura de la siguiente manera:

Tabla 4

Propiedades primarias de la textura

Propiedades primarias	Físicas	Sensoriales
Dureza	Fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada.	Fuerza requerida una sustancia entre los molares (en caso de sólidos) o entre la lengua y el paladar (en el caso de semisólidos).
Cohesividad	Extensión a la que un material puede ser deformado antes de que se rompa.	Grado en que una sustancia comprimida entre los dientes antes de romper
Viscosidad	Velocidad de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza requerida para llevar un líquido del utensilio a la lengua
Elasticidad	Velocidad a la que un material deformado vuelve a su condición inicial después de que la fuerza que causa la deformación es retirada.	Grado en que un producto vuelve a su forma original una vez que ha sido compirimido entre los dientes.
Adhesividad	Trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para eliminar el material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante el proceso normal de comer.

Nota. Se describen en la tabla las propiedades primarias de la textura (dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adhesividad), tomado de Rolle, Siret, Río-Segade y Maury (2022).

Tabla 5*Propiedades secundarias de la textura*

Propiedades secundarias	Físicas	Sensoriales
Fracturabilidad	Fuerza con la que un material fractura; es un producto con una alta dureza y un bajo grado de cohesividad.	Fuerza con la que una muestra se desmigaja, agrieta o se hace pedazos.
Masticabilidad	Energía requerida para masticar un alimento sólido hasta el estado adecuado	Periodo de tiempo requerido para masticar la muestra a una velocidad constante de fuerza aplicada, para reducirla a una consistencia adecuada para tragar.
Gomosidad	Energía requerida para desintegrar un semisólido a un estado listo para ser tragado: un producto con un bajo grado de dureza y alto grado de cohesividad.	Espesura que persiste durante la masticación; energía requerida para desintegrar un semisólido a un estado adecuado para tragar.

Nota. Se describe en la tabla las propiedades secundarias de la textura (fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad) tomado de Rolle, Siret, Río-Segade y Maury (2022).

2.2.8.1. *Análisis de perfil de textura*

El análisis del perfil de textura es una prueba analítica de compresión doble bastante empleada en la industria de alimentos y tiene por objetivo evaluar las propiedades texturales de los alimentos crudos, de procesamiento intermedios o finales. Ocasionalmente es usada en otras industrias para productos farmacéuticos, geles y cuidado personal. Durante una prueba de TPA, las muestras se comprimen dos veces con un analizador de textura para proporcionar una idea de cómo se comportan las muestras. La identidad de textura de cualquier alimento rara vez es una simple cuestión de entender un atributo singular como la dureza, la adhesión, la cohesión o la elasticidad. La textura de cualquier alimento es multifacética y está vinculada a las expectativas funcionales de la materia alimenticia analizada. El TPA como método analítico permite cuantificar múltiples parámetros de textura en un solo experimento. Los parámetros TPA han

evolucionado desde la creación de la prueba, a través de los comentarios de la industria de alimentos y las extensas pruebas realizadas en investigaciones (Texture-Technologies, 2019).

La textura juega un papel importante en la industria alimentaria ya que este parámetro es un criterio de valoración de frescura y calidad para los consumidores. El perfil de textura es el análisis sensorial de la complejidad de las características texturales de un producto, desglosándolas en características mecánicas, geométricas y otras (Stone y Sidel, 2018).

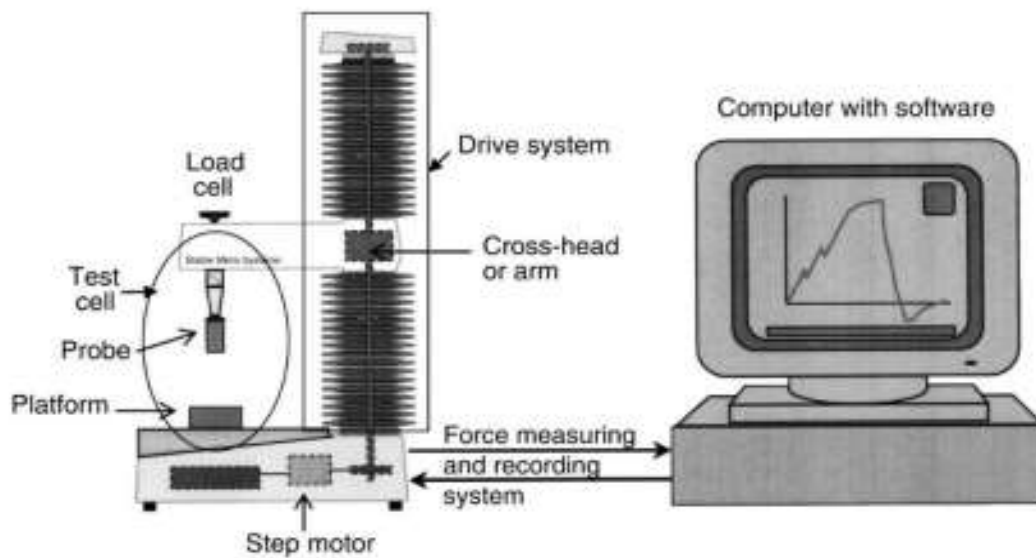
El perfil de textura no sólo se utiliza para medir la textura de un alimento, sino que incluye otros parámetros como: el sabor y el olor. Esta prueba requiere de ocho a diez jueces entrenados. Consiste en que los jueces realicen un análisis descriptivo de cada uno de los componentes, determinando los más representativos hasta percibir los componentes con menor intensidad. Análisis de perfil de textura es un término general para describir la percepción en la boca de las propiedades reológicas. Incluye las determinadas propiedades físicas definidas objetivamente (grado de elasticidad, grado de gomosidad), así como otras descriptivas en las que no existen definiciones tan claras (masticabilidad, gomosidad, adhesividad) (Hernández, 2019).

2.2.8.2. *Equipo analizador de textura*

Los analizadores de textura constan de cuatro componentes esenciales (Figura 14). Primero, el sistema de transmisión imparte movimiento a un brazo móvil (cross head or arm) que contiene la celda de prueba (test cell). Segundo, la plataforma (platform) de prueba es generalmente estacionaria, se encuentra unida a la base de la máquina y es compatible con el alimento de prueba que sostiene. Tercero, la celda de prueba se describe principalmente por su masa (kg) y se le pueden instalar diferentes pruebas de acuerdo a la necesidad de la investigación. En cuarto lugar, el sistema de medición, registro y análisis de información de prueba. El software utilizado para controlar el analizador de textura es de vital importancia para la calibración de equipo y establecimiento de los parámetros de prueba; es fácil de usar y ofrece una amplia gama de pruebas preestablecidas para diferentes categorías de alimentos (Rolle, Siret, Río-Segade, y Maury, 2022).

Figura 10

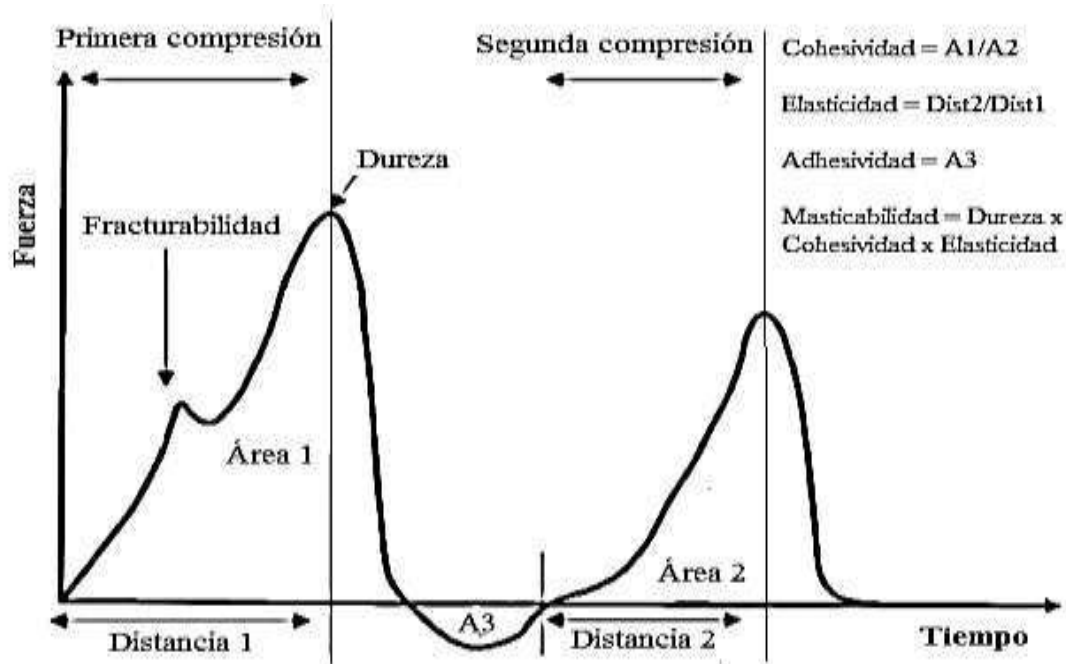
Analizador de textura



Nota. Se muestra en la figura el equipo analizador de textura imagen obtenida de Rolle, Siret, Río-Segade, y Maury (2022).

Figura 11

Gráfica general del análisis de perfil de textura



Nota. Se observa en la figura una gráfica general del análisis de perfil de textura, obtenida de Hernández (2019).

Los autores De la Ossa y Rivera (2021) describe lo siguiente:

a) Fracturabilidad

Es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con el cual el alimento se desmorona, cruje o se revienta. Se expresa en unidades de fuerza-Newton.

b) Dureza:

Fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza, N o kg m.s^{-2} .

c) Cohesividad:

Cociente entre el área positiva bajo la curva de fuerza de la segunda compresión (Área 2) y el área bajo la curva de la primera compresión (Área 1) Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.

d) Adhesividad:

Siguiendo al primer ciclo de compresión se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve a su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa (Área 3), se toma como una medida de la adhesividad de la muestra. Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de la superficie. Se mide en (kg m s^{-2}).

e) Gomosidad:

La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado. Producto de la dureza por la cohesividad. Se expresa en (kg m/s^{-2} o N).

f) Elasticidad:

Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo CD/BA. Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional, una longitud dividida por otra longitud.

g) Masticabilidad:

Producto de la dureza por la cohesividad y la elasticidad. Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido. Se expresa en kilogramos fuerza.

2.2.8.3. Importancia del perfil de textura en la industria alimentaria

El análisis de la textura ha sido muy importante y lo seguirá siendo para el desarrollo de múltiples industrias, en la industria alimentaria es relevante enunciar sus aplicaciones:

- Control de calidad de los alimentos: para la aceptación de los productos, estudio de la textura y consistencia de productos alimenticios.
- Control de producción y procesos: Permite la medición y control de variaciones en la textura del alimento causados por variables de proceso tales como: Humedad, tiempo de almacenamiento, tiempo y temperatura de cocción.

Dichas propiedades son muy importantes a la hora de que un producto sea del agrado del consumidor entre otros (De la Ossa y Rivera 2021).

2.2.8.4. Texturómetro Brookfield

El texturómetro Brookfield CT3 - equipo "Texture Pro CT" ha sido diseñado para ser utilizado con el analizador de la textura CT3 y un sistema operativo Windows 2000 o superior. Permite recoger los datos del analizador de textura: guardarlos, visualizarlos, imprimirlos y analizarlos. Las características operacionales incluyen diversas ventajas tales como realizar análisis estadísticos de una muestra y exportar archivos de datos a otros equipos o en formato Microsoft Excel. Permite manipular información como archivo de base de datos de almacenamiento de la estructura, lo que minimiza los requisitos de espacio y permite obtener un archivo fácil y lógico. El Analizador de Textura CT3 puede realizar pruebas o tests de Compresión, APT, o tensión. Nótese que el ensayo que se realiza El test que se realiza en este trabajo es APT (Análisis de Perfiles de Textura). En este análisis la muestra es situada entre la sonda y la sujeción inferior, y la sonda se mueve hacia abajo, presionando sobre la muestra. Los datos resultantes pueden usarse para cálculos de dureza y fracturas (Brookfield Engineering Labs. Inc. 2019).

2.3. Definición de términos básicos

- **Snack:**

Son alimentos ligeros consumidos entre comidas o como sustitutos parciales; los snacks expandidos son productos inflados y crujientes hechos por extrusión de cereales, con aditivos para mejorar su sabor y apariencia (Taimal, 2019).

- **pH:**

Es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. Las siglas pH significan potencial hidrógeno (Tingal, 2019).

- **Ultrasonido:**

Según Campo et al. (2018), el ultrasonido es una energía acústica de alta frecuencia con múltiples aplicaciones, incluyendo limpieza, medicina y procesamiento de alimentos, donde se usa para mezclar, homogeneizar y descontaminar. Se define también como una tecnología emergente en conservación de alimentos que reduce microorganismos e inhibe enzimas sin alterar las propiedades físicas, químicas y nutricionales del producto (Delgado, 2011).

- **Snack de plátano palillo (*Musa x paradisiaca* L.):**

Según Navarro (2020) los chifles son un snack hecho de plátanos *Musa x paradisiaca* L., cortados en tiras finas y procesados mediante fritura u horneado.

- **Pre tratamiento:**

Cazar (2015) define el pretratamiento como procesos previos que mejoran las características o facilitan el procesamiento posterior de una materia prima.

- **Tiempo de tratamiento:**

Según Vera y Villaprado (2017) el tiempo de tratamiento es la duración de un proceso aplicado a un alimento, influyendo en sus características finales.

- **Fritura al vacío:**

Torres et al. (2017) describen un método de fritura en vacío controlado que mejora la rapidez, uniformidad y reduce la oxidación y absorción de aceite.

- **Características texturales:**

Bastidas y Toala (2022) indican que los atributos físicos y mecánicos de un alimento, como dureza y elasticidad, influyen en su percepción sensorial y calidad.

- **Dureza:**

Fuerza necesaria para fracturar la muestra. (Torres et al., 2015)

- **Crujencia:**

Ruido de los alimentos durante la masticación (Taimal, 2019).

- **Adherencia:**

Capacidad de los alimentos para adherirse a los dientes cuando se mastica (Taimal, 2019).

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La presente investigación se realizó en el 1er piso del laboratorio de “Frutas y hortalizas” perteneciente de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Coordenadas: 7°10'01" S 78°29'44" O / -7°166943, -78.495427.

Altitud: 2750 msnm

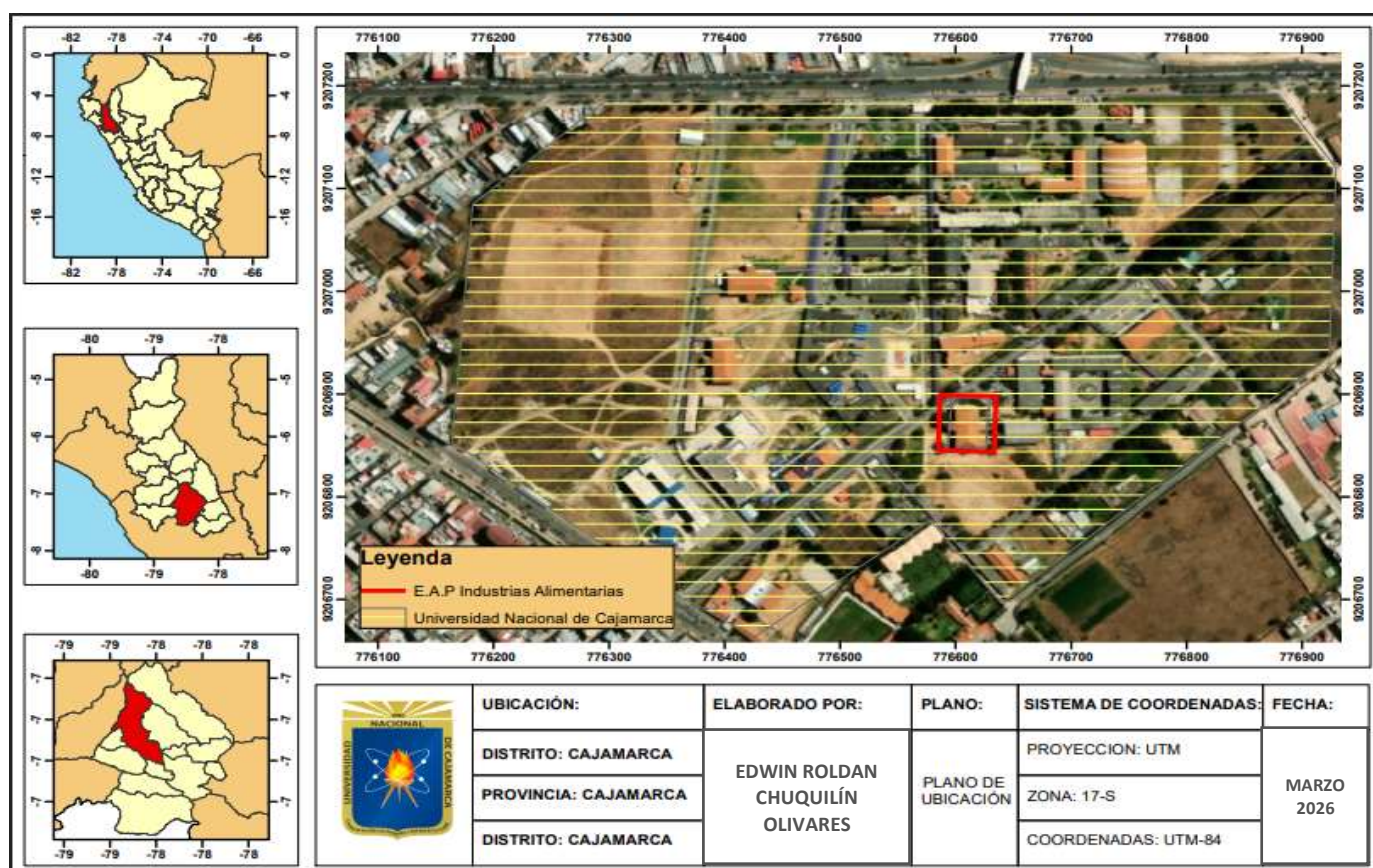
Temperatura: 15°C

Precipitación: 11%

Humedad: 73%

Figura 12

Mapa de ubicación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias



Nota. En la figura se observa el mapa de ubicación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias – UNC (Elaboración propia).

3.2. Materia prima e insumos

- Plátano variedad “Palillo” procedente de la Provincia de Jaén a 729 m.s.n.m. departamento Cajamarca, Región Cajamarca.
- Aceite Vegetal 100 % de soya adquirido de Hipermercados “Metro”

3.3. Materiales de laboratorio

a) Materiales para el procesamiento

- Balanzas analíticas. – Marca: (QUA) y (METLET TOLEDO)
- Balón de gas – Marca (CAXAGAS)
- Bomba de vacío – Marca (SARTORIUS) ® 0-900 mbar
- Bolsas con cierre hermético – Marca (ZYPLOC)
- Cocina - Marca (INDURAMA)
- Coladores metálicos
- Cuchillos de acero inoxidable
- Cronómetro
- Espátulas de acero inoxidable
- Freidora al vacío
- Mesa de acero inoxidable
- Rebanadora para hojuelas
- Recipientes de acero inoxidable
- Tablas de picar
- Termómetro digital – Marca (TP300)

b) Equipos para procesamiento y análisis instrumental de (textura)

- Equipo de Ultrasonido – Marca (ULTRASONIC CLEANER/DIGITAL PRO)
- pH metro de mesa – Marca (THERMO Scientific)
- Texturómetro - Marca (BROOKFIELD) modelo CT3.

c) Reactivos

- Ácido cítrico adquirido de MEVICAR EIRL

d) Otros materiales

- Anillados de tesis.
- Cuaderno de apuntes.
- Celular con cámara digital (IPHONE)
- Empastados de tesis,

- Folder de manila.
- Fotocopias.
- Hojas de papel bond (ATLAS)
- Impresora (HP).
- Laptop (HP).
- Lapiceros indelebles (PILOT)
- Malla cobre pelo
- Mandil blanco
- Mascarilla
- USB (KINGSTON).

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. *Análisis instrumental de textura*

Para analizar las características texturales de los snacks de plátano palillo, se empleó un Texturómetro BROOKFIELD CT3 junto con el programa TEXTURE PRO-V2; este equipo permitió cuantificar la dureza, fracturabilidad y cohesividad, ofreciendo información numérica sobre el impacto de los diversos tratamientos en las propiedades sensoriales del producto.

Se usó el Texturómetro BROOKFIELD CT3 y el software TEXTURE PRO-V2 para realizar un Análisis de Perfil de Textura (TPA). El análisis se llevó a cabo con una velocidad de compresión de 1,70 mm/s y una profundidad máxima de 1 mm, ajustados para medir dureza, fracturabilidad y cohesividad de manera precisa.

El Texturómetro presionó el snack y midió la fuerza aplicada en función de la distancia. El software produjo una curva que visualiza esta relación, permitiendo así calcular la dureza, fracturabilidad y cohesividad del snack.

Estos datos fueron analizados utilizando el software InfoStat, aplicando un ANOVA y la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Esto permitió identificar diferencias significativas entre los tratamientos y proporcionó una comprensión estadística de cómo las variables experimentales influyen en las propiedades texturales del snack.

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Tipo de investigación

Tabla 6

Metodología experimental

De acuerdo al tipo orientación	De acuerdo a la técnica de contrastación
APLICADA	DISEÑO EXPERIMENTAL
Busca convertir las teorías, en un conocimiento y experiencia práctica y útil para la sociedad.	Permite valorar las causas y los efectos que tiene una variable sobre otra dentro de una investigación experimental.

Nota. Se describe en la tabla la metodología experimental, de acuerdo al tipo de orientación (aplicación) y de acuerdo a la técnica de contrastación (diseño experimental).

3.6. Variables de estudio

3.6.1. Variable independiente

- **Variaciones de pH:**

(T1: 2.5, T2: 3, T3: 3.5)

Nota: Las variaciones de pH se tomaron de referencia de las investigaciones de: (Villamizar y Quiceno, 2022), (Fernando y Albuja, 2022), (Urbano et al 2019) y (Mora y Suarez, 2020).

- **Tiempo de pretratamiento por ultrasonido:**

(T1: 2 min, T2: 4 min, T3: 6 min).

Nota: Los tiempos de pretratamiento por ultrasonido se tomaron de referencia de las investigaciones de: (Rodríguez, 2023), (Mallqui y Paredes, 2022), (Ponce, 2022), (Campo et al. 2020) y (Díaz, 2020)

3.6.2. Variable dependiente

- **Características físicas de textura instrumental:**

- Dureza (g-f)
- Fracturabilidad (g-f)
- Cohesividad

3.7. Unidad de análisis, población y muestra de estudio

3.7.1. Unidad de análisis

Para la unidad de análisis se utilizó materia prima (plátano) de acuerdo a los criterios: fresca y condiciones óptimas.

3.7.2. Población

El plátano variedad “Palillo” tuvo como procedencia a la Provincia de Jaén, perteneciente al departamento de Cajamarca, Perú; ubicada a 729 m.s.n.m.

3.7.3. Muestra de estudio

Se utilizaron 90 bolsas de cierre hermético que contenían los snacks de plátano palillo, cada bolsa de snacks contenía 70 g c/u. Esta cantidad de snacks se utilizó para evaluar la textura instrumental (dureza, crujencia, resistencia a la ruptura y adherencia).

3.8. Instrumentos de colecta de datos

Tabla 7

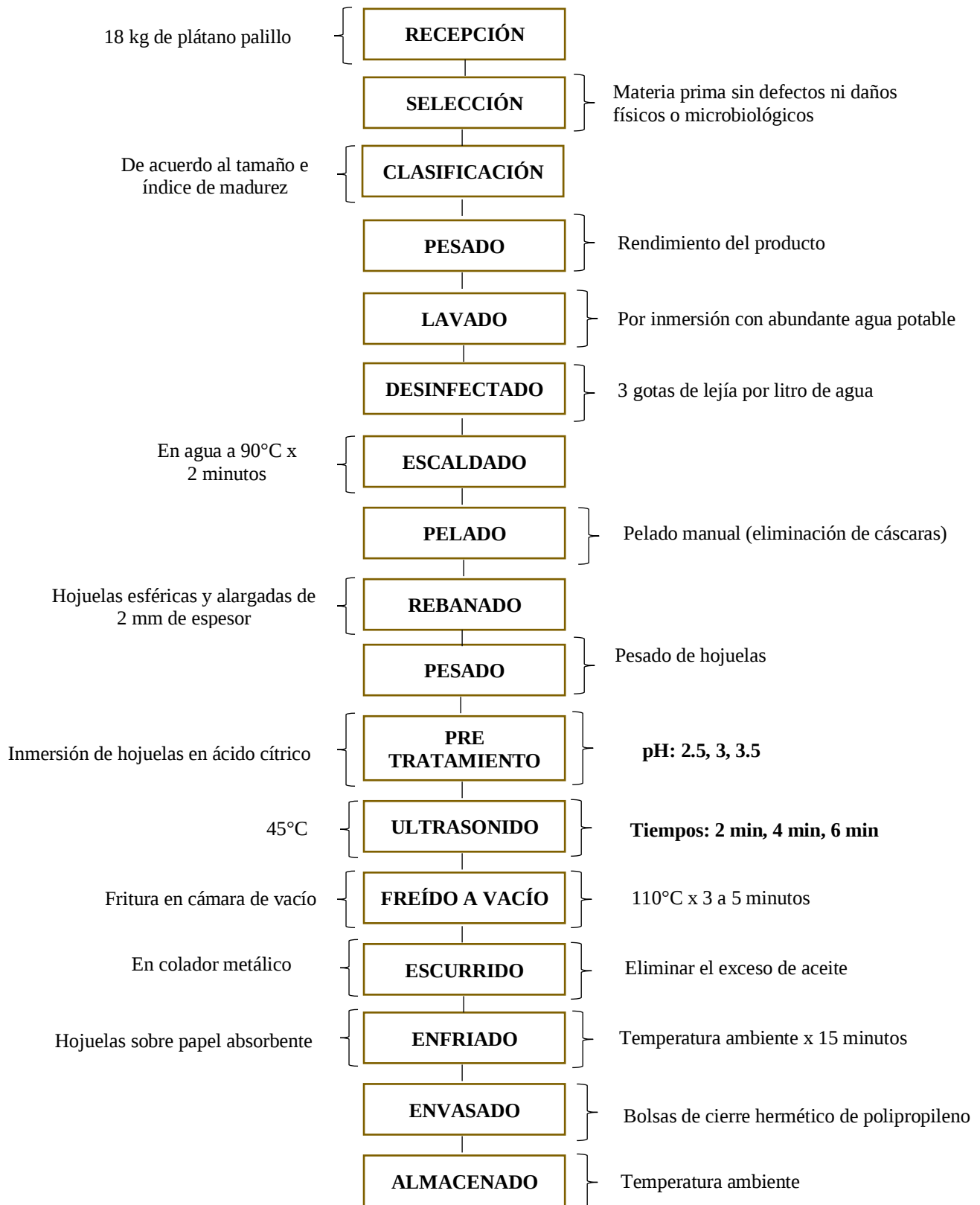
Instrumentos de colecta de datos

Variable	Instrumentos de recolección de datos
Textura	Toma de datos de un texturómetro
pH	Toma de datos de un pH metro
Tiempo de ultrasonido	Toma de datos de un equipo de ultrasonido

Nota. Se describe en la tabla los instrumentos de colecta de datos donde se detalla los instrumentos de recolección para textura toma de datos de un texturómetro, pH toma de datos de un pH metro, y tiempo de ultrasonido.

Figura 13

Elaboración de snacks de plátano palillo



Nota. Se observa en la figura el flujograma para la obtención de snacks de plátano palillo, adaptado de Sicchar (2022).

3.9. Proceso de elaboración de snack de plátano palillo

1. Recepción

Se utilizó un total de 18 kg de plátano palillo, cultivado en la Provincia Jaén, Departamento de Cajamarca, se eligió esta variedad de plátano por su apariencia y condiciones estándares deseados (Ponce, 2022).

Figura 14

Recepción



Nota. Se observa en la imagen la etapa de recepción de los plátanos palillo.

2. Selección

Se seleccionaron plátanos sin defectos físicos y microbiológicos; en un estado de maduración temprana (Santillán, 2022).

Figura 15

Selección



Nota. La imagen muestra la etapa de selección de los plátanos palillo.

3. Clasificación

Se clasificó la materia prima (plátano palillo) de acuerdo al tamaño e índice de madurez (Moreno, 2018).

Figura 16

Clasificación



Nota. La imagen muestra la clasificación de los plátanos palillo.

4. Pesado

Se pesaron los plátanos palillo utilizando una balanza de amplia capacidad, para determinar la cantidad de materia prima utilizada para el ensayo (Higuera y Prado, 2017).

Figura 17

Pesado



Nota. La imagen muestra la etapa de pesado inicial de los plátanos palillo.

5. Lavado

Con la finalidad de eliminar impurezas y tierra. Se emplearon dos métodos de lavado de los plátanos; por inmersión asegurando una limpieza profunda y por lavado con agua corriente eliminando cualquier residuo restante (Ponce, 2022).

Figura 18

Lavado



Nota. La imagen muestra la etapa de lavado de los plátanos palillo.

6. Desinfectado

Se desinfectaron los plátanos palillo utilizando tres 10 ppm de hipoclorito de sodio por cada litro de agua se dejó reposar durante 30 minutos y se enjuagaron con abundante agua (Hui, 2019).

Figura 19

Desinfectado



Nota. La imagen muestra la etapa del desinfectado de los plátanos palillo.

7. Escaldado

Los plátanos palillo se sometieron a un escaldado breve, sumergiéndolos por 2 minutos en agua a 90°C, en una proporción de 1:5, con la finalidad de disminuir el látex y la adherencia de la cáscara y preservar el color y evitar el oscurecimiento enzimático, manteniendo un aspecto atractivo para el consumidor (Santillán, 2022).

Figura 20

Escaldado



Nota. Las figuras muestran el antes y el después en el proceso de escaldado de los plátanos palillo.

8. Pelado

En el pelado de plátanos, la eliminación de la cáscara resultó ser crucial debido a su adherencia a la pulpa y al látex presente en ella; aunque se disponía de varias técnicas, se utilizó el pelado manual con cuchillos o peladores de acero inoxidable (Sicchar, 2022).

Figura 21

Pelado



Nota. La imagen muestra la etapa del pelado de los plátanos palillo.

9. Rebanado

Se determinó el tipo de hojuelas a ofrecer según el producto: esféricas y alargadas con un espesor de 2 mm. El rebanado se realizó usando una rebanadora de acero inoxidable (Sicchar, 2022).

Figura 22

Rebanado



Nota. La imagen muestra la etapa del rebanado de los plátanos palillo.

10. 2do Pesado

Se determinó el peso de las láminas de plátano en una balanza analítica de gran exactitud; este paso crucial permitió obtener una medida precisa de los snacks (Mora, 2020).

Figura 23

2do pesado



Nota. La imagen muestra la etapa del 2do pesado de las hojuelas de plátanos palillo.

11. Inmersión en solución (pre - tratamiento)

Se sumergieron las hojuelas en una solución de ácido cítrico; este tratamiento preparó la superficie para las etapas posteriores, se aplicaron gotas de ácido cítrico hasta obtener los valores pH de (2.5, 3, 3.5), con la finalidad mantener la calidad y textura del producto (Parzanese, 2016).

Figura 24

Inmersión en solución



Nota. La imagen muestra la etapa del pretratamiento en soluciones de ácido cítrico

12. Ultrasonido

La aplicación de ultrasonido (US) se realizó sumergiendo las muestras en un baño ultrasónico fijado a una frecuencia ultra sónica 40KHz, durante tres tiempos diferentes (2, 4 y 6 minutos) a 45 °C de temperatura (Vasquez y Ita, 2014) y (Chemat et al., 2011).

Figura 25

Ultrasonido



Nota. La imagen muestra el proceso de ultrasonido en hojuelas de plátano palillo.

13. Fritura a vacío

Las rodajas de plátano se introdujeron en una cámara de vacío sellada, a 110 °C durante 3 a 5 minutos. Se utilizaron 5 litros de aceite vegetal para freir los snacks, finalizado el proceso se extrajo la canasta del aceite, retirando las láminas ya fritas (Mora, 2020).

Figura 26

Fritura



Nota. La imagen muestra la fritura al vacío de los snacks de plátano palillo.

14. Ecurrido

Los snacks de plátano palillo se escurrieron en 3 minutos en un colador metálico, con el objetivo de retirar el exceso de aceite y poder mejorar su presentación. El aceite drenado se devolvió a la olla para su reutilización.

Figura 27

Ecurrido



Nota. La imagen muestra la etapa de escurrido de los snacks de plátano palillo.

15. Enfriado

Las hojuelas recién fritas se colocaron en una mesa de laboratorio sobre un papel absorbente con la finalidad de eliminar el aceite restante a temperatura ambiente por 15 minutos, logrando así la textura deseada (Santillan, 2022).

Figura 28

Enfriado



Nota. La imagen muestra la etapa de enfriado de los snacks de plátano palillo.

16. Envasado

Los snacks de plátano palillo se colocaron en bolsas de cierre hermético de polipropileno debidamente rotuladas, el envasado tiene la finalidad de para evitar que el aire ingrese al producto final y provoque algún tipo contaminación (Arellano, 2018).

Figura 29

Envasado



Nota. La imagen muestra la etapa de envasado de los snacks de plátano palillo.

17. Almacenado

Los snacks de plátano palillo previamente envasados se conservaron a temperatura ambiente, protegidos de la luz directa, en un lugar fresco y seco, lejos de olores fuertes (Higuera y Prado, 2017).

Figura 30

Almacenado



Nota. La imagen muestra la etapa de almacenado de los snacks de plátano palillo

3.10. Factores de estudio

Tabla 8

Factores de estudio para “Snack de plátano palillo”

Factor A	
pH	
A_1	2.5
A_2	3
A_3	3.5
Factor B	
Pretratamiento de ultrasonido	Tiempo (minutos)
B_1	2
B_2	4
B_3	6

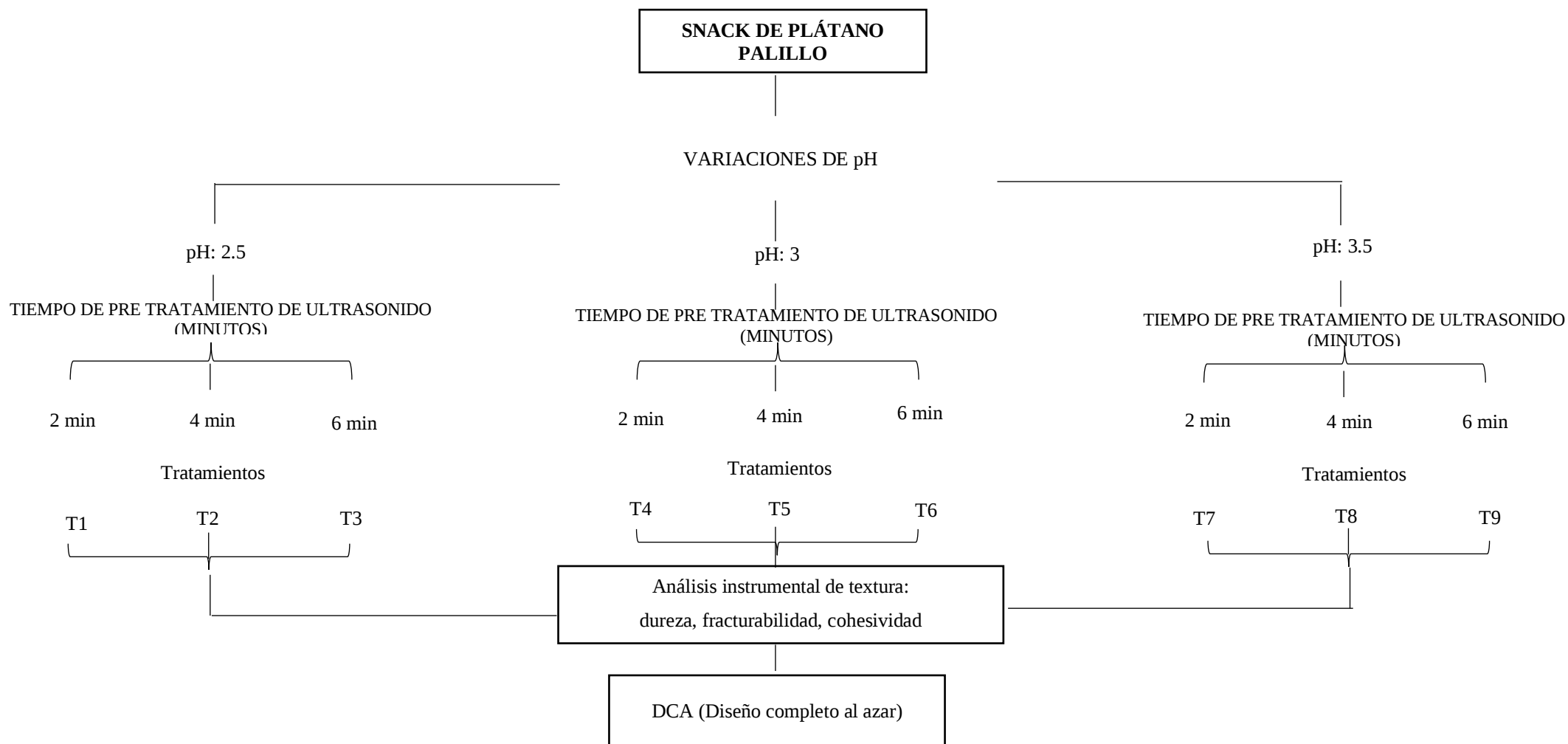
Nota. Se describen en la tabla los factores de estudio, donde: “A” corresponde a las variaciones de pH y el factor “B” corresponde a los tiempos de pre tratamiento de ultrasonido de las muestras de snack de plátano palillo respectivamente.

3.11. Diseño experimental

La investigación fue de tipo experimental y se centró en el efecto del pH y el tiempo en el pretratamiento por ultrasonido sobre las características físicas de los snacks de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) fritos al vacío; se aplicó un diseño factorial 3 x 3 completamente al azar para evaluar los factores y sus niveles; el estudio empleó un diseño factorial con tres réplicas distribuidas aleatoriamente; se analizaron dos variables clave: la concentración de cúrcuma y la duración del pretratamiento con ultrasonido; para evaluar su impacto, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para identificar los factores significativamente influyentes, seguido por la prueba de Tukey al 5% de significancia para comparar los niveles de estos factores; todo el análisis estadístico se realizó con el software InfoStat.

Figura 31

Esquema de tratamientos



Nota. En la figura se describe el esquema de tratamientos y los análisis realizados en esta investigación, modelo adaptado de Santillán (2022).

3.12. Modelo estadístico

En nuestra investigación se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde;

$$Y_{ijk} = \text{Respuesta}$$

$$\mu = \text{Efecto medio}$$

$$\alpha_i = \text{Efecto verdadero del } i\text{-ésimo nivel del factor A}$$

$$\beta_j = \text{Efecto verdadero del } j\text{-ésimo nivel del factor B}$$

$$(\alpha\beta)_{ij} = \text{Efecto verdadero de la interacción}$$

$$\varepsilon_{ijk} = \text{Error experimental}$$

Los factores y los correspondientes niveles son:

- **Factor A (pH):**

Nivel $a_1 = 2.5$

Nivel $a_2 = 3$

Nivel $a_3 = 3.5$

- **Factor B (Tiempo de pretratamiento de ultrasonido):**

Nivel $b_1 = 2$ minutos

Nivel $b_2 = 4$ minutos

Nivel $b_3 = 6$ minutos

3.13. Análisis de varianza

Tabla 9

Análisis de varianza para factorial de 2 factores (A y B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F
			Modelo I
Tratamientos	$(t - 1) :$	8	
A	$(a - 1) :$	2	$\frac{CM_{(A)}}{CM_{error}}$
B	$(b - 1) :$	2	$\frac{CM_{(B)}}{CM_{error}}$
A B	$(a - 1)(b - 1) :$	4	$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{error}}$
Error	$ab(n-1)$	27	
Total	$abn - 1$	35	

Nota. Se describe en la tabla la fuente de variación, grados de libertad, y suma de cuadrados, tratamientos y modelo estadístico.

3.14. Matriz de tratamientos

Tabla 10

Matriz de tratamientos

Unidades experimentales	Tratamientos	Niveles (Combinaciones)	Factor A pH	Factor B: Tiempo en el pretratamiento por ultrasonido (minutos)	Repeticiones
1	T ₁	a ₁ b ₁	2.5	2 min	3
2	T ₂	a ₁ b ₂	2.5	4 min	3
3	T ₃	a ₁ b ₃	2.5	6 min	3
4	T ₄	a ₂ b ₁	3	2 min	3
5	T ₅	a ₂ b ₂	3	4 min	3
6	T ₆	a ₂ b ₃	3	6 min	3
7	T ₇	a ₃ b ₁	3.5	2 min	3
8	T ₈	a ₃ b ₂	3.5	4 min	3
9	T ₉	a ₃ b ₃	3.5	6 min	3

Nota. Se describe en la tabla la matriz de tratamientos; donde el factor (A) corresponde a las variaciones de pH (a₁= 2.5, a₂= 3, a₃= 3.5); el factor (B) corresponde a los tiempos de pretratamiento por ultrasonido en minutos (b₁= 2, b₂= 4, b₃= 6) con tres repeticiones y con un total de nueve (9) unidades experimentales.

3.15. Trabajo de gabinete

Los datos para nuestro producto: “Snack de plátano palillo”, fueron tabulados, luego se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de las diferencias significativas entre tratamientos (combinación de factores); posteriormente se realizó la prueba de rango múltiple de tukey al 5% de probabilidad para el factor significativo.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Dureza en snacks de plátano palillo

Tabla 11

Promedios para dureza (g-f) en 9 muestra de snacks de plátano palillo

Tratamientos	Factor A pH	Factor B: Tiempo en el pretratamiento por ultrasonido (minutos)	Dureza g-f
T ₁	2.5	2 min	71.56 ± 52.65 g-f
T ₂	2.5	4 min	31.48 ± 13.32 g-f
T ₃	2.5	6 min	29.91 ± 19.09 g-f
T ₄	3	2 min	38.52 ± 26.57 g-f
T ₅	3	4 min	28.85 ± 6.10 g-f
T ₆	3	6 min	37.01 ± 22.30 g-f
T ₇	3.5	2 min	36.40 ± 27.75 g-f
T ₈	3.5	4 min	36.89 ± 12.91 g-f
T ₉	3.5	6 min	24.87 ± 9.70 g-f

Nota. En la tabla se observa que la dureza mas alta en snacks de plátano palillo fue 71.56 g-f ubicado en T1 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (2 min), y la dureza más baja en snacks de plátano palillo fue 24.87 g-f ubicado en T9 a un pH de (3.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (6 min).

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para dureza en snack de plátano palillo.

Model Terms	Estimate	Std. Error	F - value	P - value
A: pH	-5.80	2.02	-2.87	0.004
B: Tiempo de ultrasonido	-9.11	2.02	-4.51	<.001
AB: pH*Tiempo de ultrasonido	7.53	2.48	3.04	0.003

Nota. En la tabla ANOVA para dureza en snack de plátano palillo, se observa que el factor A (pH), el factor B (tiempo de ultrasonido) y en la interacción de factores AB (pH*tiempo de ultrasonido) fueron significativos ($p < 0.05$) es decir que de modo individual y en conjunto estos factores ejercen un efecto en las muestras.

La relación entre el pH y la dureza se debe a la interacción del almidón, que es el componente principal del plátano verde utilizado para los snacks. Se origina el fenómeno de la hidrólisis del almidón, basada que en un ambiente ácido (pH bajo), el almidón del plátano se descompone o hidroliza más fácilmente, dando como resultado un gel más débil y una estructura menos rígida (un snack más blando). Se genera la estabilidad del almidón, ya que a valores de pH menos ácidos (cerca de la neutralidad), el almidón mantiene mejor su estructura durante el proceso de cocción, lo cual contribuye a una mayor rigidez y dureza en el producto final; en este sentido, esto concuerda con los resultados obtenidos en nuestra investigación donde la dureza mas alta fue 71.56 g-f a un pH de (2.5) y la dureza más baja fue 24.87 g-f a un pH de (3.5) (Sicchar, 2022).

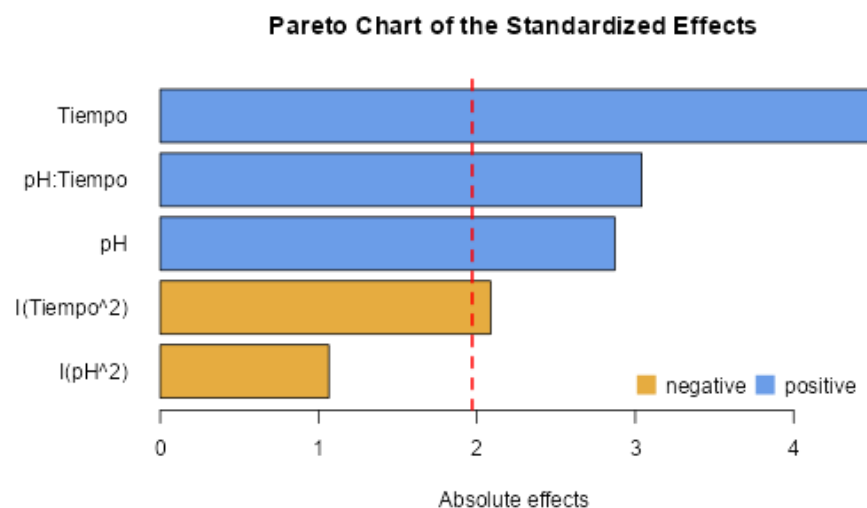
La temperatura a la que el almidón se gelatiniza también se ve afectada por el pH, pues en condiciones ácidas, esta temperatura puede variar, lo que cambia la forma en que se forma la estructura del snack durante la fritura. Es crucial controlar el pH durante la producción de snacks de plátano para obtener la textura deseada. El uso de soluciones ácidas o alcalinas en el pretratamiento de los snacks de plátano palillo antes de freírlas, es una práctica común para manipular la textura. Al variar el pH de estas soluciones, se puede controlar la dureza del snack final, la estandarización del pH es fundamental en cualquier prueba de evaluación de dureza para garantizar resultados fiables y reproducibles. Sin este control, las variaciones en la acidez del plátano o del proceso pueden alterar la textura del producto, invalidando la evaluación (Alba, 2021).

El pretratamiento por ultrasonido, una tecnología no térmica, induce efectos mecánicos y de cavitación que alteran la matriz alimentaria del plátano. Las ondas ultrasónicas crean microcanales en el tejido del plátano. Esto facilita la difusión interna de la humedad durante la fritura, acelerando el proceso. El efecto de esponja: como por ejemplo la cavitación, la formación y colapso de burbujas, genera microchorros y fuerzas de cizallamiento que actúan sobre la pared celular. Esto debilita la estructura, permitiendo una mayor transferencia de masa (Bastidas y Toala, 2022).

Un mayor tiempo de pretratamiento por ultrasonido puede incrementar la dureza del snack final, debido a que las ondas ultrasónicas remueven las moléculas de agua del plátano, lo que permite una mayor penetración de aceite durante la fritura, la estructura porosa resultante se llena con aceite, lo que aumenta la rigidez cuando los tiempos de sonicación son más cortos y también son efectivos para acelerar la transferencia de masa. Un tiempo más corto podría resultar en una dureza final diferente, ya que la alteración de la matriz no es tan intensa, esto difiere con los resultados obtenidos en nuestra investigación donde la dureza más alta fue 71.56 g-f con un tiempo de ultrasonido de (2 min), y la dureza más baja fue 24.87 g-f con un tiempo de ultrasonido de (6 min) (Alvídrez, Morales, González, y Jiménez, 2022).

Figura 32

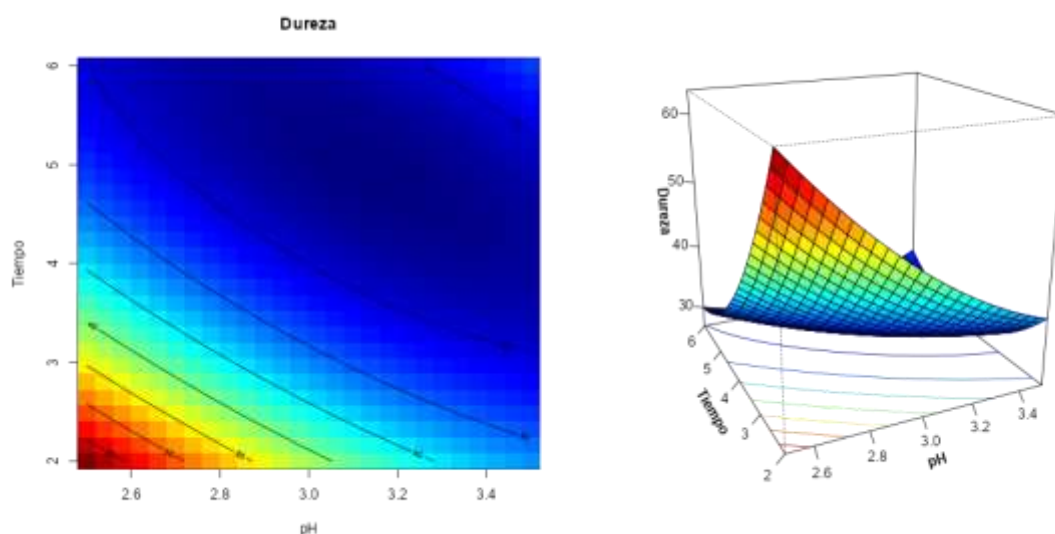
Gráfico de pareto estandarizado para dureza en snacks de plátano palillo



Nota. En la figura 32 se muestra el diagrama de pareto estandarizado para dureza en snacks de plátano palillo, donde se observa significancia estadística en el tiempo de ultrasonido, en la interacción de pH con el tiempo de ultrasonido y en el pH.

Figura 33

Gráficos de perfil y de superficie de respuesta para dureza en snacks de plátano palillo



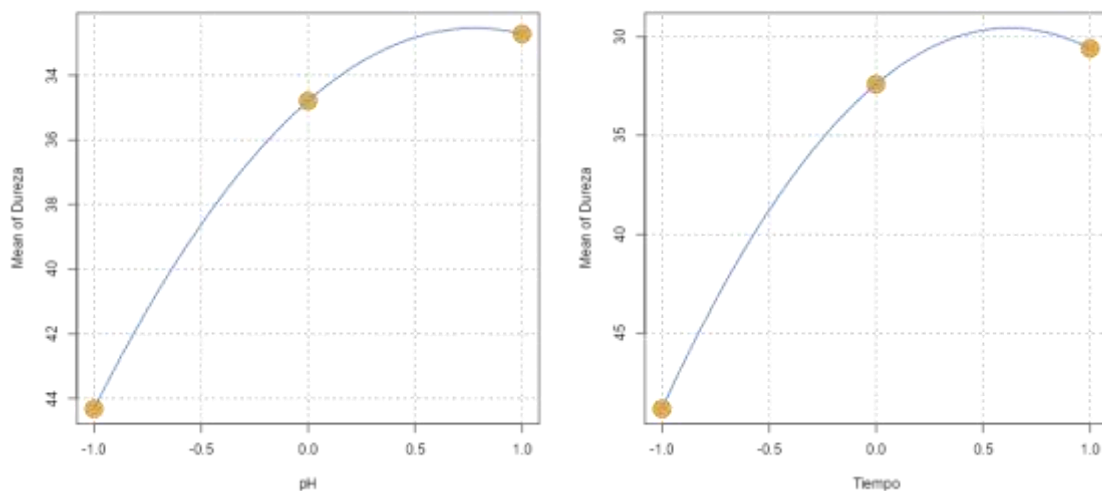
Nota. En la figura 33 se observa en la interpretación del Gráfico de Contorno (Izquierda), este gráfico es una "vista desde arriba" del fenómeno, donde el punto de máxima dureza se encuentra en la esquina inferior izquierda cuando el pH es bajo (aprox. 2.5) y el tiempo es corto (2 min), la dureza alcanza sus valores más altos (superiores a 60). Existe una tendencia de reducción a medida que nos movemos hacia la derecha (aumentamos pH) o hacia arriba (aumentamos tiempo), el color cambia a azul, indicando que el snack se vuelve menos duro. En lo referente a la curvatura las líneas de contorno no son rectas; esto sugiere que existe una interacción entre el pH y el tiempo. El efecto del tiempo sobre la dureza no es el mismo si el pH es ácido que si es más neutro. En la interpretación de la Superficie de Respuesta (Derecha) este gráfico 3D permite visualizar la "pendiente" del proceso, la forma de la superficie observamos una caída pronunciada desde la esquina de bajo pH/bajo tiempo. La superficie se estabiliza (se vuelve más plana) a medida que el pH y el tiempo aumentan. Al aumentar el tiempo de proceso, la dureza disminuye drásticamente al principio y luego parece estabilizarse cerca de un valor de 30. Un pH más elevado (cercano a 3.4) tiende a suavizar la textura del snack de plátano, independientemente del tiempo, aunque el efecto es más notorio en tiempos cortos. Para obtener un snack muy duro se debe trabajar con un pH bajo y tiempos de proceso cortos y para obtener un snack más suave/tierno se debe aumentar el pH por encima de 3.0 y prolongar el tiempo de proceso. Entre un pH de 3.0-3.4 y un tiempo de 4-6, la dureza se mantiene constante en niveles bajos (zona azul oscuro), lo que sugiere que en este rango el proceso es menos sensible a pequeñas variaciones.

La ecuación que describe el modelo de superficie de respuesta estimado para dureza en snacks de plátano palillo es:

$$\text{Dureza} = 336.6770 - 131.1659 \cdot \text{pH} - 41.7424 \cdot \text{Tiempo} + 14.9094 \cdot I(\text{pH}^2) + 1.8257 \cdot I(\text{Tiempo}^2) + 7.5266 \cdot \text{pH} \cdot \text{Tiempo} \quad (R^2 = 0.15).$$

Figura 34

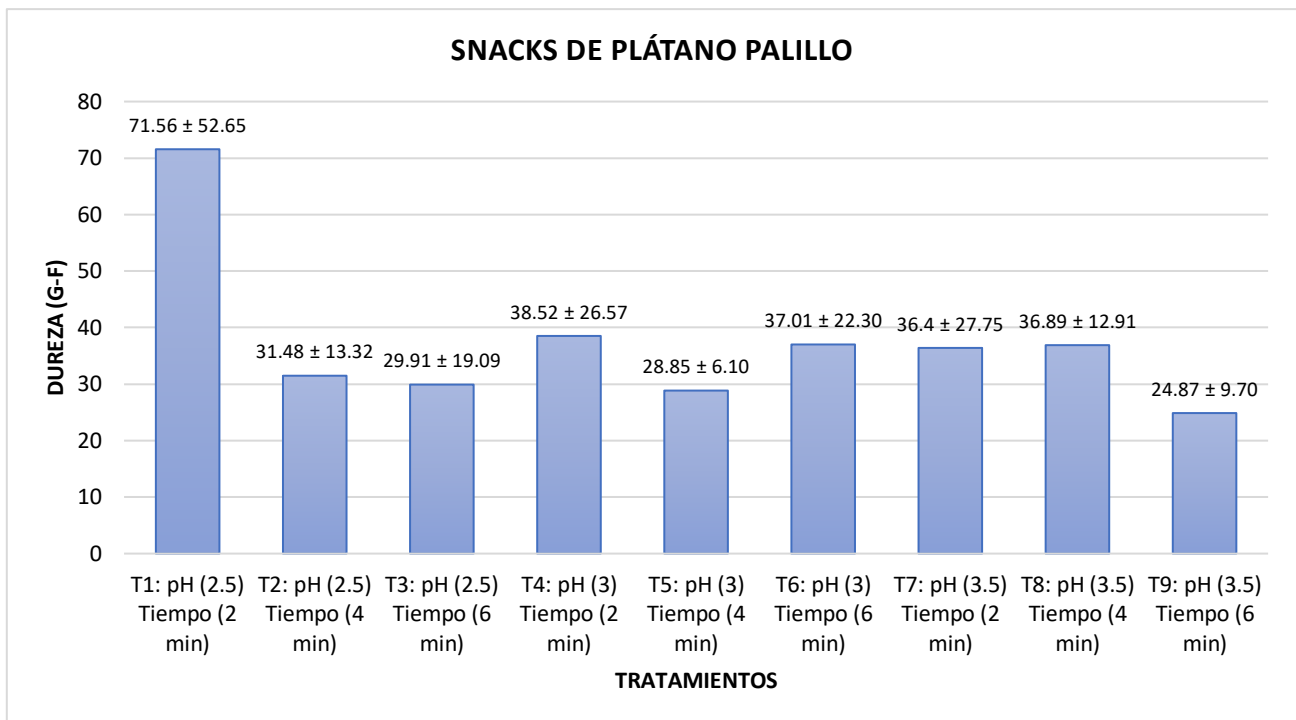
Gráfico de efectos individuales sobre la dureza en snacks de plátano palillo



Nota. En la figura 34 se observa en el efecto del pH (El primer gráfico) muestra cómo varía la dureza según los niveles codificados de pH (-1, 0, 1) donde se muestra una tendencia no lineal, se observa una curva (curvatura) que indica un efecto cuadrático. Al aumentar el pH de -1 a 1, el valor de la "Media de Dureza" en el gráfico sube visualmente, lo que numéricamente significa que la dureza disminuye (pasa de un valor cercano a 44 a uno cercano a 33). El punto óptimo muestra que la pendiente se suaviza al llegar al nivel +1, lo que sugiere que el efecto de ablandamiento se estabiliza en niveles de pH más altos. En referencia al efecto del tiempo (El segundo gráfico) analiza el impacto del tiempo de proceso, existe una mayor sensibilidad es decir que la curva es más pronunciada que la del pH, lo que sugiere que el tiempo tiene un impacto más fuerte en la textura final del snack, se observa un máximo visual (que representa la dureza mínima numérica) alrededor del nivel 0.5 a 0.7. Para obtener un snack más blando: Se deben buscar niveles de pH y Tiempo cercanos a +1. Para obtener un snack más firme (duro): Se deben mantener niveles bajos (-1), especialmente un tiempo corto de proceso.

Figura 35

Promedios de dureza en 9 muestras de snacks de plátano palillo



Nota. De la tabla 11 y figura 35 se observa que la dureza mas alta fue 71.56 g-f ubicado en T1 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (2 min), y la dureza más baja fue 24.87 g-f ubicado en T9 a un pH de (3.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (6 min).

García (2023) obtuvo resultados altos de dureza aplicando un tiempo de pretratamiento por ultrasonido de 2 min a 4 min haciendo que el snack tenga una estructura rígida lo cual concuerda con los datos obtenidos en nuestra investigación donde aplicando un tiempo de pretratamiento de 2 minutos se obtiene una dureza más alta de 71.56 g-f, pero difieren con los resultados reportados por Medina (2024) quien observó una relación directa entre el tiempo de exposición al ultrasonido y la dureza resultante. Los snacks pretratados a 6 minutos resultaron dieron snacks más duros que aquellos tratados por 4 minutos y 2 minutos. Este fenómeno se dá por los efectos del ultrasonido en la estructura celular del plátano. Campo et al. (2018) afirma que una exposición más prolongada al ultrasonido genera mayor ruptura de las paredes celulares, lo que podría resultar en una textura más compacta y, por ende, más dura después de la fritura al vacío.

Zhang et al (2021) señala que el ultrasonido es un tratamiento no térmico y que los procesos de pretratamiento a la fritura tiene un potencial para reducir la absorción de aceite, por otra parte Kita et al, (2020) nos dice que la dureza aumenta por la cantidad de

fibra que está contenida en el plátano ya que tiene un alto contenido en fibra, por otro lado la fritura convencional aplicada en este trabajo de investigación también es un factor que influye en la dureza del snack de plátano ya que al aplicar el ultrasonido en diferentes tiempos (2, 4, 6 min). Gamboa (2016) afirma que el efecto del ultrasonido actúa como un fenómeno conocido como efecto esponja la cual ocasionaría un incremento en la difusión interna del agua por efecto mecánico, a través de canales microscópicos producidos por las ondas, la cual el aceite a elevada temperatura ayuda que el agua se evapore rápidamente del plátano ocasionando que la dureza sea mayor ya que el producto frito se convierte en vapor, creando una gradiente de presión positiva, esto determina que el vapor escape por las grietas y abra los capilares (canales en la estructura y en las membranas celulares), generando que durante esta fase exista un menor ingreso de aceite.

Montes (2016) explica por qué el pretratamiento por ultrasonido ayuda que la dureza del snack sea mayor al exponerlo al mayor tiempo de pretratamiento de 6 minutos, este resultado también se debería a la frecuencia de ultrasonido utilizada de 40 kHz, por lo que al utilizar el ultrasonido como pretratamiento acelera la pérdida de agua y reduciendo el tiempo de secado posterior según (Fernandes, et. al. 2021). Mora, (2020) afirma que por el hecho que la exposición al pretratamiento es menor lo que indica que hay menor incidencia en las estructuras celulares en lo que respecta a cubrir los poros del plátano. Con mayor tiempo de pretratamiento por ultrasonido las moléculas de agua del plátano son removidas por el efecto de las ondas del ultrasonido y el aceite penetra en el snack. Para conseguir que la dureza sea mayor los poros de la superficie del alimento deben ser ocupados por el vapor de agua generando que durante esta fase exista un menor ingreso de aceite (Montes, 2016). Los resultados obtenidos en nuestra investigación concuerdan con los resultados de los autores Campo et al. (2020), encontraron que el ultrasonido incrementó significativamente la velocidad de secado y mejoró la difusividad del agua. aunque Campo et al. se centraron en el secado, los mecanismos subyacentes del ultrasonido que mejoran las propiedades físicas del alimento son comparables. Asimismo,

Díaz (2020) exploró el uso del ultrasonido y la deshidratación osmótica en el secado de batata morada, observando mejoras en la transferencia de masa y las características sensoriales, identificando que la combinación de deshidratación osmótica al 60% con ultrasonido fue la más efectiva, similar a cómo el presente estudio encontró que ciertas combinaciones específicas de pH y tiempo de ultrasonido optimizan la dureza del snack de plátano. Almilla (2022) indica que el pH ácido puede causar una

desnaturalización parcial de las proteínas del plátano, lo que podría contribuir a una textura más firme tras el freído. Cordero (2023) afirma que el corto tiempo de exposición al ultrasonido podría causar cambios estructurales en el tejido del plátano sin llegar a degradarlo excesivamente resultando una textura más dura después del freído. Amador (2018) indica que la combinación de pH ácido y corto tiempo de ultrasonido favorecer la formación de una estructura más compacta durante el freído, posiblemente debido a cambios en la gelatinización del almidón o en la retención de agua.

Basilio, (2021) manifiesta que la dureza de los chips es un indicador de crocantez del alimento por lo que un valor de dureza inferior o bajo en un chip nos dará una crocantez superior, es decir que son inversamente proporcionales. En comparación con nuestro estudio utilizando un pH de 3.5 el snack tuvo una menor dureza de 24.87 N, por lo que la crocantez será mayor y utilizando un pH de 2.5 se obtuvo una mayor dureza de 71.56 N, indicando haciendo que la muestra sea menos crocante. El nivel de pH en el pretratamiento de snacks de plátano palillo influye considerablemente en su textura final, particularmente en su crocancia. A niveles bajos de pH, las pectinas y celulosas presentes en las paredes celulares tienden a conservar su estructura y flexibilidad, lo que reduce la fragilidad del producto. Sin embargo, a pH más altos, estas estructuras se debilitan o desnaturalizan con mayor facilidad, favoreciendo una textura seca y quebradiza tras la fritura. En este sentido pueden considerarse tanto el pH de 2.5 y pH de 3.5 se consideran niveles de pH bajos porque son inferiores a 7 (Brookfield Engineering, 2024).

Se dice que el pH influye en la gelatinización del almidón, es decir a pH elevados se promueve una mayor ruptura de las estructuras internas, lo que facilita la pérdida de agua durante la fritura y genera un producto más seco y crocante. Esto se ve reforzado por la menor capacidad del tejido vegetal para retener humedad en condiciones alcalinas, lo cual favorece una mayor porosidad. Finalmente, el aumento del pH también disminuye la intensidad de las reacciones de oscurecimiento no enzimático como la de Maillard, lo que evita el reblandecimiento superficial y contribuye a conservar una textura más firme y crujiente (Brookfield Engineering, 2024).

4.2. Fracturabilidad en snacks de plátano palillo

En la tabla 13 se presentan los promedios para fracturabilidad (N) en 9 muestras de snacks de plátano palillo:

Tabla 13

Promedios para fracturabilidad (g-f) en 9 muestras de snacks de plátano palillo

Tratamientos	Factor A pH	Factor B: Tiempo en el pretratamiento por ultrasonido (minutos)	Fracturabilidad (g-f)
T ₁	2.5	2 min	17.51 ± 12.11 g-f
T ₂	2.5	4 min	29.22 ± 14.30 g-f
T ₃	2.5	6 min	23.83 ± 9.86 g-f
T ₄	3	2 min	24.37 ± 11.59 g-f
T ₅	3	4 min	22.32 ± 9.72 g-f
T ₆	3	6 min	27.26 ± 21.05 g-f
T ₇	3.5	2 min	23.99 ± 17.66 g-f
T ₈	3.5	4 min	23.77 ± 20.01 g-f
T ₉	3.5	6 min	19.42 ± 6.14 g-f

Nota. En la tabla se observa que la fracturabilidad más alta en snacks de plátano palillo fue 29.22 g-f ubicado en T2 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (4 min), y la fracturabilidad más baja en snacks de plátano palillo fue 17.51 g-f ubicado en T1 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (2 min).

Tabla 14*Análisis de varianza para fracturabilidad en snack de plátano palillo*

Model Terms	Estimate	Std. Error	F - value	P - value
A: pH	-0.564	1.12	-0.504	0.615
B: Tiempo de ultrasonido	0.773	1.12	0.692	0.490
AB: pH*Tiempo de ultrasonido	-2.723	1.37	-1.989	0.048

Nota. En la tabla ANOVA para fracturabilidad en snack de plátano palillo, se observa que la interacción de factores AB (pH*tiempo de ultrasonido) fueron significativos ($p < 0.05$) es decir que en conjunto estos factores ejercen un efecto en las muestras.

El nivel de acidez impacta directamente en las estructuras de las paredes celulares, lo que determina la textura final del producto, cuando el pH es bajo se genera una mayor acidez. Un pH de 2.5, se ha relacionado con una mayor crocancia o fracturabilidad en el snack como el obtenido en nuestra investigación (29.22 g-f), ya que en condiciones menos ácidas, las paredes celulares pueden degradarse más, afectando la estructura y el resultado final del producto, la influencia del pH en la fracturabilidad se puede explicar por varios mecanismos clave durante el proceso de pretratamiento y fritura, el ácido cítrico, hidroliza la proto pectina presente en las paredes celulares, transformándola en pectina soluble en agua. Este proceso favorece la salida de agua durante la fritura, lo que produce una textura más crujiente (Basilio, 2021).

El pretratamiento ácido reduce la absorción de aceite durante la fritura, lo que contribuye a una textura más crujiente y menos grasosa. En un ambiente ácido, las pectinas y celulosas de las paredes celulares mantienen su integridad y flexibilidad, esto facilita la formación de una estructura interna más porosa y una capa superficial más crujiente durante la fritura. Asimismo, usando un pH de 2.5 puede resultar un snack con menor fracturabilidad con (17.51 g-f), ya que la textura tiende a ser crujiente y menos resistente a la ruptura (Delgado, 2022).

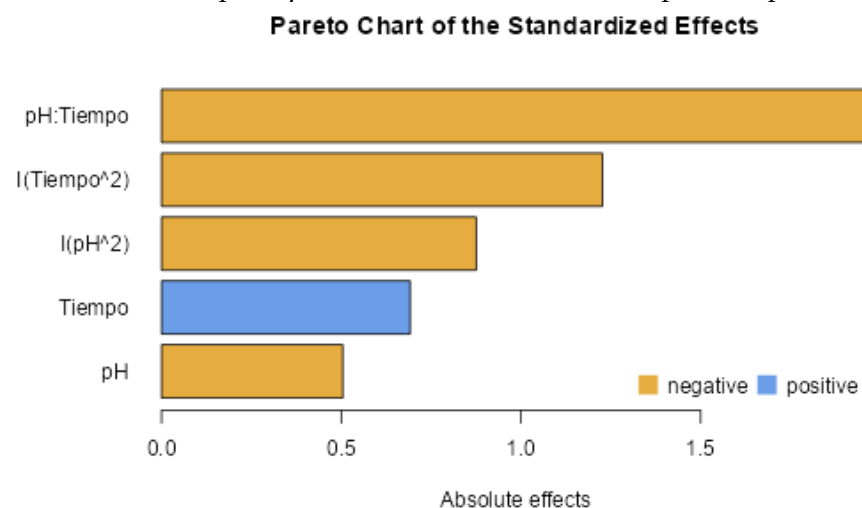
Durante el tratamiento, el ultrasonido genera burbujas que colapsan cerca de la superficie del alimento, creando microcorrientes y micro chorros. Esto puede causar daños superficiales y la formación de microcanales en la estructura del plátano. Las ondas ultrasónicas modifican la morfología de los gránulos de almidón. Esto es crucial en

alimentos con alto contenido de almidón como el plátano, ya que altera la forma en que el snack interactúa con la humedad y el aceite durante la fritura. El efecto mecánico de la cavitación también facilita la eliminación de la humedad del interior del plátano. Este proceso de deshidratación contribuye a la textura final del snack (Bautista y Romero, 2020).

El tiempo de pretratamiento por ultrasonido influye significativamente en la fracturabilidad de los snacks de plátano, principalmente alterando la estructura del almidón y el contenido de humedad, afectando la absorción de aceite durante la fritura. A un tiempo de pretratamiento con ultrasonido de (2 min) no se intensifica los efectos de las ondas ultrasónicas en el tejido del plátano. Esto conlleva a una menor remoción de agua del interior de las rodajas de plátano y una disminución en la penetración de aceite durante la fritura y la modificación de los almidones internos resultando una menor fracturabilidad (17.51 g-f) (Del Rosario Arellano, 2021). En nuestra investigación se observa que, a un tiempo más largo de exposición al ultrasonido, este tiene un efecto menos pronunciado en la estructura de los snacks de plátano palillo, donde utilizando un tiempo de pretratamiento por ultrasonido de (4 min) produce valores de fracturabilidad más altas de (29.22 g-f) (Díaz, 2020).

Figura 36

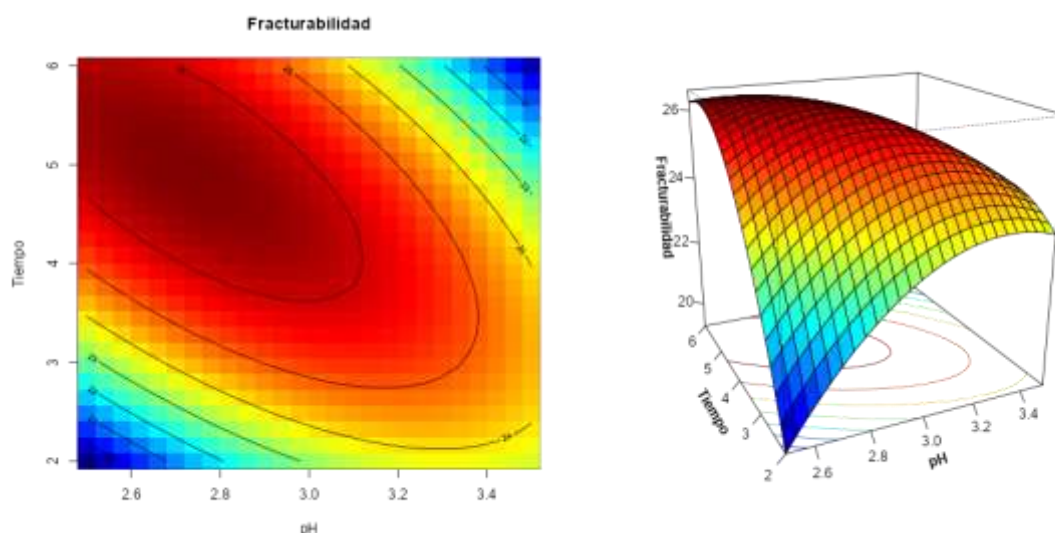
Gráfico de pareto estandarizado para fracturabilidad en snacks de plátano palillo



Nota. En la figura 36 se muestra el diagrama de pareto estandarizado para fracturabilidad en snacks de plátano palillo no se observa significancia estadística en ninguno de los factores de estudio.

Figura 37

Gráficos de perfil y de superficie de respuesta para fracturabilidad en snacks de plátano palillo



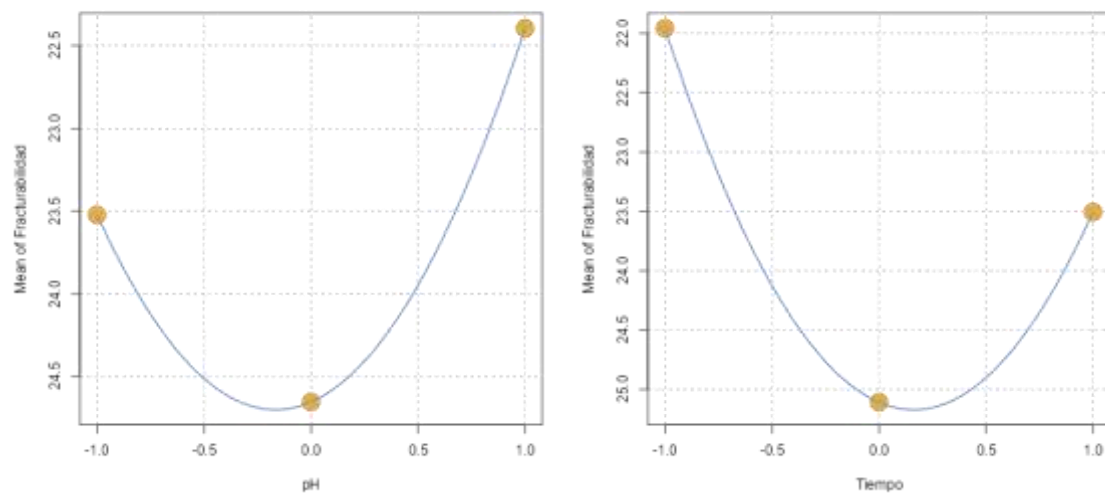
Nota. En la figura 37 se observa en el Gráfico de Contorno (Izquierda) este mapa de "calor" bidimensional nos permite ver las zonas óptimas desde una vista aérea: las zonas de máxima fracturabilidad (Color Rojo Oscuro) se localizan en la parte superior izquierda esto ocurre cuando el pH es bajo (aprox. 2.5 a 2.8) y el tiempo es alto (entre 5 y 6 unidades). Las zonas de mínima fracturabilidad (Color Azul): Se encuentran en los extremos opuestos, especialmente cuando el tiempo es muy corto (cercano a 2) y el pH es bajo, o cuando el pH es muy alto (3.5) y el tiempo es largo. En cuanto a la curvatura: Las líneas elípticas indican que existe una interacción significativa entre las variables. No es una relación lineal simple; el efecto del pH sobre la textura depende totalmente de cuánto tiempo se procese el snack. El Gráfico de Superficie de Respuesta (Derecha) esta vista 3D añade la perspectiva de "montaña" para entender la magnitud del cambio. El punto más alto de la superficie (Fracturabilidad > 26) se alcanza con una combinación de pH ácido y tiempos de proceso prolongados, con pendientes pronunciadas se observa una caída muy rápida de la fracturabilidad cuando el pH aumenta hacia 3.4 si el tiempo se mantiene bajo. Esto sugiere que el control del pH es crítico para mantener la consistencia del snack. La superficie muestra una ligera curvatura cóncava. Esto significa que existe un punto máximo de "dureza/fracturabilidad" y que, si se exceden ciertos límites de pH, la calidad del snack decae rápidamente. A medida que aumenta el tiempo, la fracturabilidad tiende a subir (el snack se vuelve más quebradizo/seco) y un pH más bajo (más ácido) favorece una mayor fracturabilidad en este modelo.

La ecuación que describe el modelo de superficie de respuesta estimado para fracturabilidad en snacks de plátano palillo es:

$$\text{Fracturabilidad} = -75.1167 + 50.4416 \cdot \text{pH} + 13.3041 \cdot \text{Tiempo} - 6.7795 \cdot I(\text{pH}^2) - 0.5936 \cdot I(\text{Tiempo}^2) - 2.7230 \cdot \text{pH} \cdot \text{Tiempo} \quad (R^2 = 0.0285).$$

Figura 38

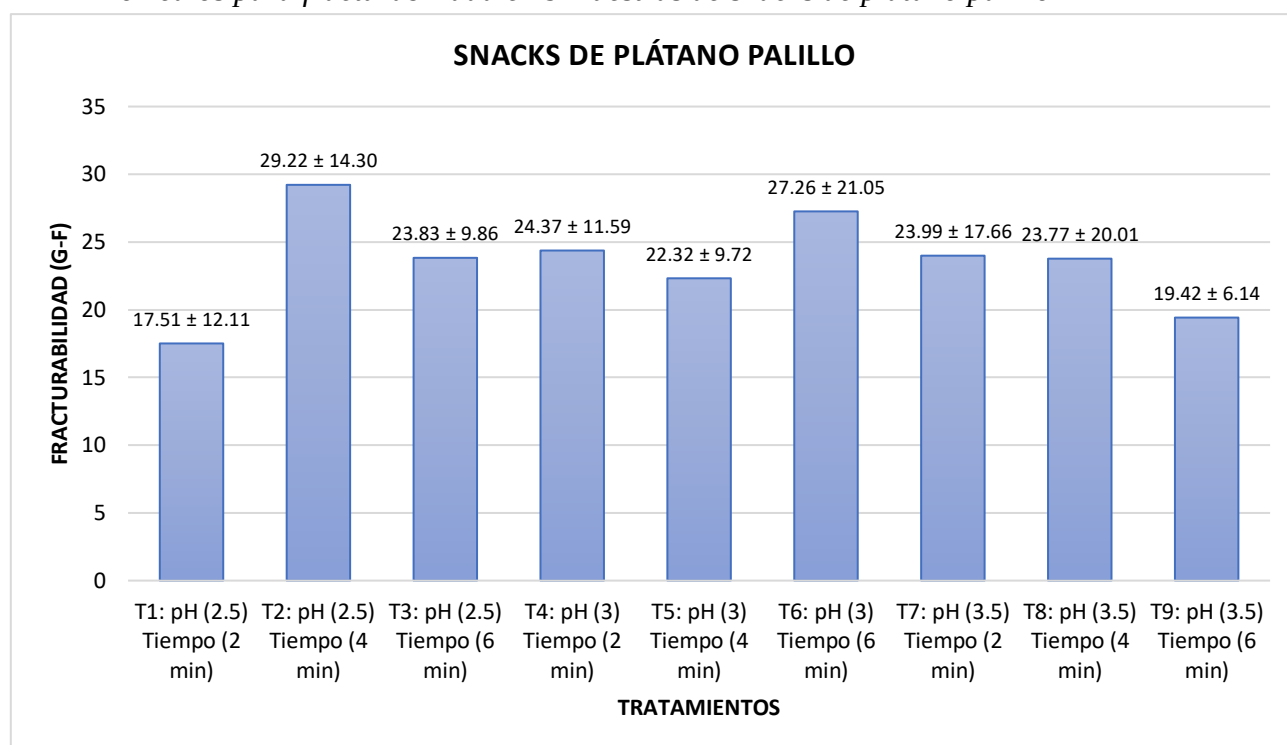
Gráfico de efectos individuales sobre la fracturabilidad en snacks de plátano palillo



Nota. En la figura 38 se observa en el efecto del pH (Gráfico Izquierdo) que a niveles bajos (-1.0) la fracturabilidad es moderadamente alta (aprox. 23.5), en el punto medio (0) se alcanza el valor más alto de fracturabilidad (cerca de 24.7) el eje vertical parece estar invertido o mostrando valores donde el "pico" hacia abajo representa el valor numérico más alto. A niveles altos (1.0) la fracturabilidad disminuye drásticamente hasta alcanzar su punto más bajo (aprox. 22.4). Un pH elevado (nivel +1) produce snacks con la menor fracturabilidad, lo que suele traducirse en una textura más frágil o crujiente. En el gráfico del efecto del tiempo de ultrasonido (Gráfico Derecho) a niveles bajos (-1.0): El snack tiene su fracturabilidad más baja (aprox. 22.0), en el punto medio (0) la fracturabilidad aumenta significativamente hasta su máximo (aprox. 25.1). A niveles altos (1.0): La fracturabilidad vuelve a bajar (aprox. 23.5), pero no tanto como en el nivel mínimo de tiempo de ultrasonido. El tiempo de ultrasonido tiene un efecto de "campana". Tanto tiempos muy cortos como tiempos muy largos de ultrasonido tienden a reducir la fracturabilidad en comparación con el punto medio del proceso.

Figura 39

Promedios para fracturabilidad en 9 muestras de snacks de plátano palillo



Nota. De tabla 13 y la figura 39 se observa que la fracturabilidad más alta en snacks de plátano palillo fue 29.22 g-f ubicado en T2 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (4 min), y la fracturabilidad más baja en snacks de plátano palillo fue 17.51 g-f ubicado en T1 a un pH de (2) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (2 min).

Medina (2024) encontró que aplicando tiempo de 6 y 4 minutos de pretratamiento, produjeron snacks con fracturabilidades de 11.73 g-f y 12.07 g-f, lo cual concuerda con nuestros resultados donde aplicando un tiempo de pretratamiento por ultrasonido de 4 minutos obtuvimos una fracturabilidad más alta con 29.22 g-f. Robles y Ochoa (2022) destacan la versatilidad y efectividad del ultrasonido en la industria alimentaria para mejorar la textura de los alimentos. Este fenómeno podría explicarse por los efectos del ultrasonido en la estructura celular del plátano palillo, como lo sugieren Campo et al. (2018), donde se describe que una exposición más prolongada al ultrasonido causa una mayor modificación de la estructura celular, lo que podría resultar en una textura más frágil y, por ende, más fracturable después de la fritura al vacío.

Basilio, (2021) se refiere a que la fractura en snacks de plátano disminuye según la actividad del agua, esto nos indica que al mayor tiempo de ultrasonido los poros del plátano, el agua que se encuentra en el interior del plátano se libera rápidamente y por

ende la fracturabilidad sea mayor. Chemat et al., 2017; García, (2023) en su estudio nos dice que el ultrasonido favorece la liberación de moléculas de agua de la fase líquida que se encuentran fuertemente retenidas en la matriz sólida fragmentando e interrumpiendo la superficie de la matriz.

Oladejo et al., (2022) investiga la posibilidad de pretratamientos de batata asistidos por ultrasonido para reducir el contenido de humedad y la absorción de aceite durante la fritura y sus efectos sobre la tasa de transferencia de masa la cual se demostró que el pretratamiento con ultrasonido es un buen pretratamiento que se puede utilizar para obtener un bajo contenido de humedad y absorción de aceite durante la fritura de batatas para así obtener un buen nivel de fracturabilidad.

Los resultados del presente estudio son consistentes con la literatura existente que demuestra la efectividad del ultrasonido y otros pretratamientos en la modificación de propiedades físicas y sensoriales de los alimentos. Tanto Ponce (2022) como Mallqui y Paredes (2022) encontraron que las condiciones específicas de pretratamiento pueden optimizar las características del producto final. En el caso del snack de plátano palillo, el pH de 2.5 y un tiempo de pretratamiento de 4 minutos fueron las condiciones óptimas para maximizar la fracturabilidad, lo cual es crucial para la textura deseada en productos de snack.

Según Amador (2023) el pH más ácido podría causar una mayor desnaturalización de proteínas y degradación parcial de pectinas, lo que resultaría en una estructura más frágil y quebradiza tras el freído. Para Olivares (2024) los tiempos de exposición al ultrasonido más cortos podrían causar cambios estructurales en el tejido del plátano que favorecen la formación de una textura más crujiente, sin llegar a degradar excesivamente la estructura. La combinación de pH ácido y tiempos de ultrasonido más cortos podría favorecer la formación de una estructura más porosa durante el freído, lo que resultaría en un snack más quebradizo (Amador, 2022). El pH más ácido podría afectar la gelatinización del almidón durante el freído, llevando a una textura más frágil (Rosales, 2024).

4.3. Cohesividad en snacks de plátano palillo

En la tabla 15 se presentan los promedios para cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo:

Tabla 15

Promedios para cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo

Tratamientos	Factor A pH	Factor B: Tiempo en el pretratamiento por ultrasonido (minutos)	Cohesividad
T ₁	2.5	2 min	0.56 ± 0.32
T ₂	2.5	4 min	1.00 ± 1.35
T ₃	2.5	6 min	0.52 ± 0.63
T ₄	3	2 min	0.45 ± 0.41
T ₅	3	4 min	0.44 ± 0.36
T ₆	3	6 min	0.32 ± 0.24
T ₇	3.5	2 min	0.46 ± 0.44
T ₈	3.5	4 min	0.34 ± 0.14
T ₉	3.5	6 min	0.79 ± 0.89

Nota. En la tabla se observa que la cohesividad más alta en snacks de plátano palillo fue 1 ubicado en T2 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (4 min), y la cohesividad más baja en snacks de plátano palillo fue 0.32 ubicado en T6 a un pH de (3) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (6 min).

Tabla 16*Análisis de varianza para cohesividad en snack de plátano palillo*

Model Terms	Estimate	Std. Error	F - value	P - Value
A: pH	-0.0831	0.0515	-1.615	0.108
B: Tiempo	0.0270	0.0515	0.525	0.600
AB: pH: Tiempo	0.0934	0.0631	1.481	0.140

Nota. En la tabla ANOVA para cohesividad en snack de plátano palillo, se observa que ninguno de los factores fueron significativos ($p > 0.05$) es decir que no ejercen efectos en las muestras.

La cohesividad se refiere a la resistencia del producto a romperse, está directamente relacionada con la modificación del almidón durante el pretratamiento y la fritura. En un ambiente ácido (pH bajo), el almidón del plátano se hidroliza o degrada, especialmente a altas temperaturas. Esto significa que las largas cadenas de almidón se descomponen en moléculas más pequeñas, lo que debilita la estructura interna del snack. El pH afecta la capacidad del almidón para formar geles. A pH de (3), la formación de gel puede ser más débil con una textura más suave y menos firme con una menor cohesividad, en nuestra investigación se obtuvo un valor menor de cohesividad de (0.32). Por el contrario, un pH de (3.5) permite una mejor formación de gel durante el proceso de cocción incrementa la cohesividad con un valor de (1) (Herrera, 2023).

Se dice que aumenta la resistencia (cohesividad) de los snacks de plátano, por causa de la interacción con la temperatura de fritura. El pH influye en la temperatura de gelatinización del almidón, proceso en el que el almidón absorbe agua y se hincha. Un pH bajo puede alterar este proceso, lo que impacta directamente en cómo se consolida la estructura del snack durante la fritura (Cazar, 2022).

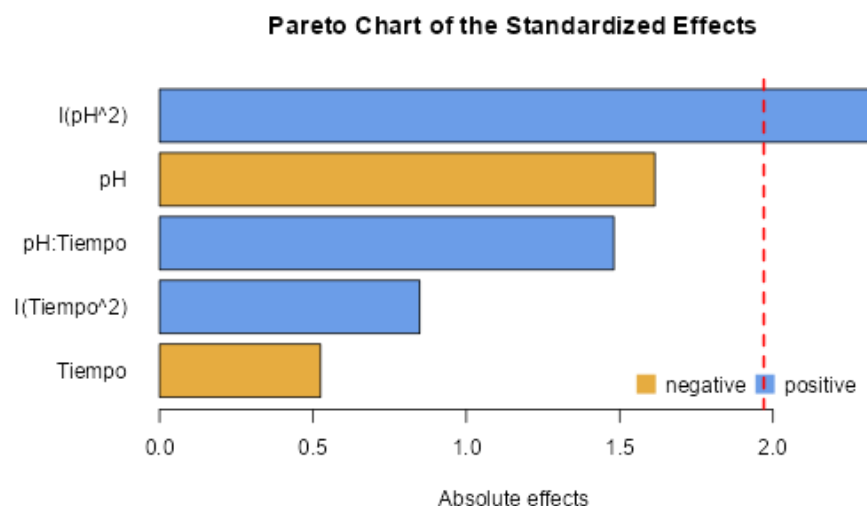
Aunque el pH es un factor dominante, otros elementos también influyen en la textura final del snack de plátano, y a menudo interactúan con el pH, como por ejemplo la temperatura de fritura que en combinación con el pH, puede modificar las características texturales del snack de plátano palillo, también un menor contenido de humedad en el producto final suele generar una textura más crujiente y menos cohesiva, otro factor es la proporción de almidón, azúcares y otros compuestos en el plátano palillo influye en cómo la acidez afecta la cohesividad (García, 2023).

El aumento en la duración del tratamiento puede provocar una reducción de la cohesividad, ya que las ondas ultrasónicas modifican la estructura del alimento y alteran la penetración del aceite durante la fritura, generando microburbujas en el líquido circundante. Al colapsar, estas burbujas crean micro chorros que rompen la estructura de la pared celular del plátano, formando microporos. La estructura porosa y la menor humedad facilitan la penetración del aceite durante la fritura, lo que aumenta la dureza y reduce la cohesividad del producto final. Un tiempo demasiado corto podría no ser suficiente para modificar la estructura, mientras que un tiempo excesivo podría afectar negativamente la calidad sensorial y nutricional del snack (Narvaez y Salazar, 2022).

En nuestra investigación a un tiempo de pretratamiento por ultrasonido de 4 minutos se obtiene una cohesividad alta de (1), un tiempo de exposición mayor elimina las moléculas de agua por ultrasonido, facilitando la penetración del aceite en los poros de la superficie y aumentando la dureza del snack, lo que a su vez impacta negativamente en la cohesividad. Un mayor tiempo de ultrasonido, remueve moléculas de agua del plátano, permite que el aceite penetre en los poros de la superficie del snack, aumenta la dureza del snack. A un tiempo de pretratamiento por ultrasonido de 6 minutos se obtuvo una cohesividad baja de (0.32) (Krokida, et. al., 2021).

Figura 40

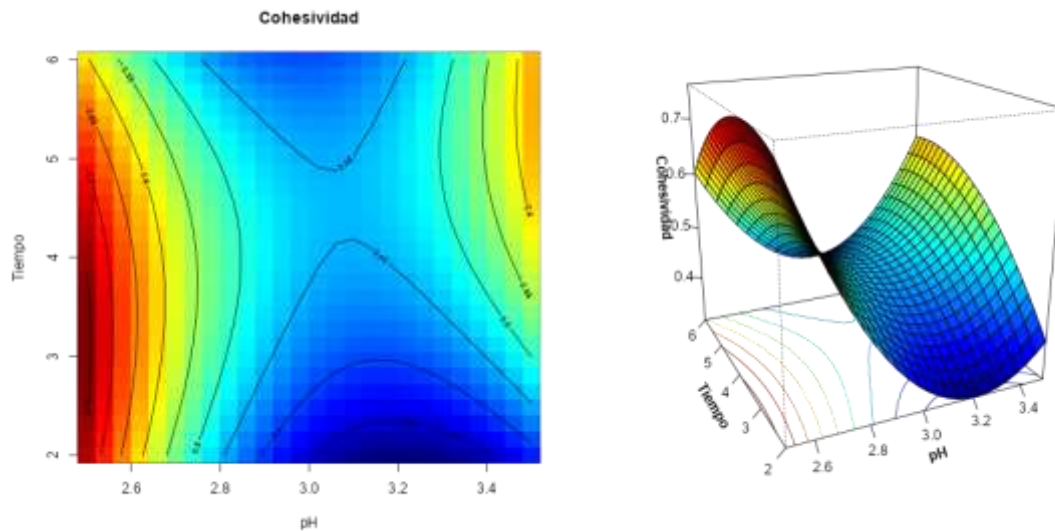
Gráfico de pareto estandarizado para cohesividad en snacks de plátano palillo



Nota. En la figura 40 se muestra el diagrama de pareto estandarizado para cohesividad en snacks de plátano palillo, donde no se observa significancia estadística en ninguno de los factores de estudio.

Figura 41

Gráficos de perfil y de superficie de respuesta para cohesividad en snacks de plátano palillo



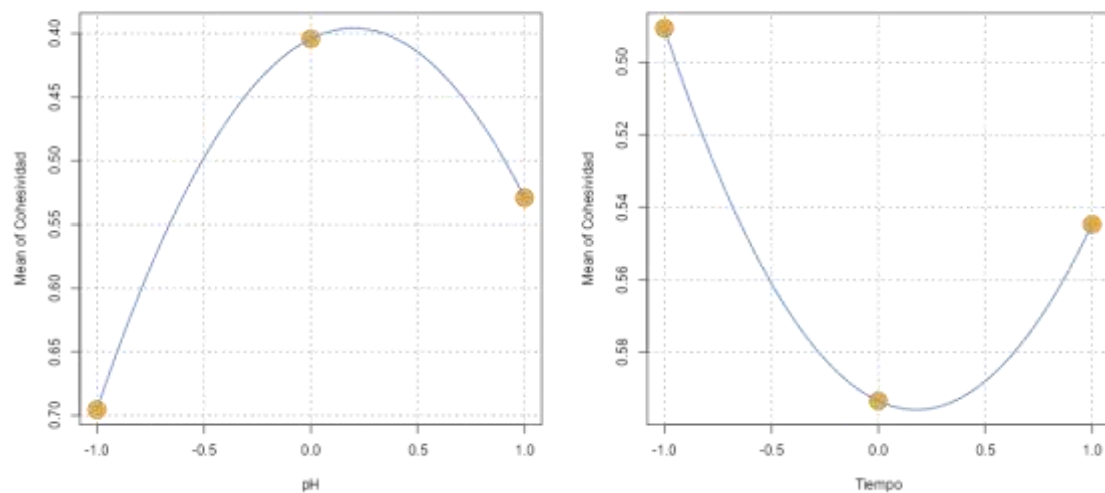
Nota. En la figura 41 se observa en el Análisis del Gráfico de Superficie (3D) se muestra que la cohesividad es muy sensible a los cambios en los extremos. Las zonas de alta cohesividad se alcanzan principalmente con un pH bajo (2.4 - 2.6), independientemente del tiempo, aunque parece reforzarse en tiempos extremos (muy bajos o muy altos). En el centro del gráfico (alrededor de pH 3.0 y tiempo 4), la superficie se "estabiliza" en un valor intermedio, si se mueves en una dirección la cohesividad sube, pero si se mueve en otra, baja. En el Análisis del Contorno (2D) se permite ver con precisión dónde están los valores óptimos donde a medida que el pH aumenta (hacia la derecha), la cohesividad tiende a disminuir drásticamente, especialmente cuando el tiempo es bajo (esquina inferior derecha, azul intenso). Las líneas de contorno curvas indican una interacción significativa. Esto significa que el efecto del tiempo sobre la cohesividad no es el mismo a un pH de 2.5 que a un pH de 3.5. Para una máxima cohesividad se debe trabajar con niveles de pH bajos (zona roja a la izquierda). El tiempo parece tener un efecto secundario en esta zona, pero mantenerlo en los extremos (2 o 6) ayuda a elevar el valor. Para una mínima cohesividad el punto crítico se encuentra en un pH alto (aprox. 3.2) y un tiempo bajo (aprox. 2). En tecnología de alimentos, una cohesividad alta suele relacionarse con una estructura más gomosa o resistente, mientras que una baja suele dar texturas más quebradizas o crujientes.

La ecuación que describe el modelo de superficie de respuesta estimado para cohesividad en snacks de plátano palillo es:

$$\text{Cohesividad} = 9.2002 - 5.5281 \cdot \text{pH} - 0.1154 \cdot \text{Tiempo} + 0.8314 \cdot \text{I}(\text{pH}^2) + 0.0189 \cdot \text{I}(\text{Tiempo}^2) + 0.0934 \cdot \text{pH} \cdot \text{Tiempo} \quad (R^2 = 0.0285).$$

Figura 42

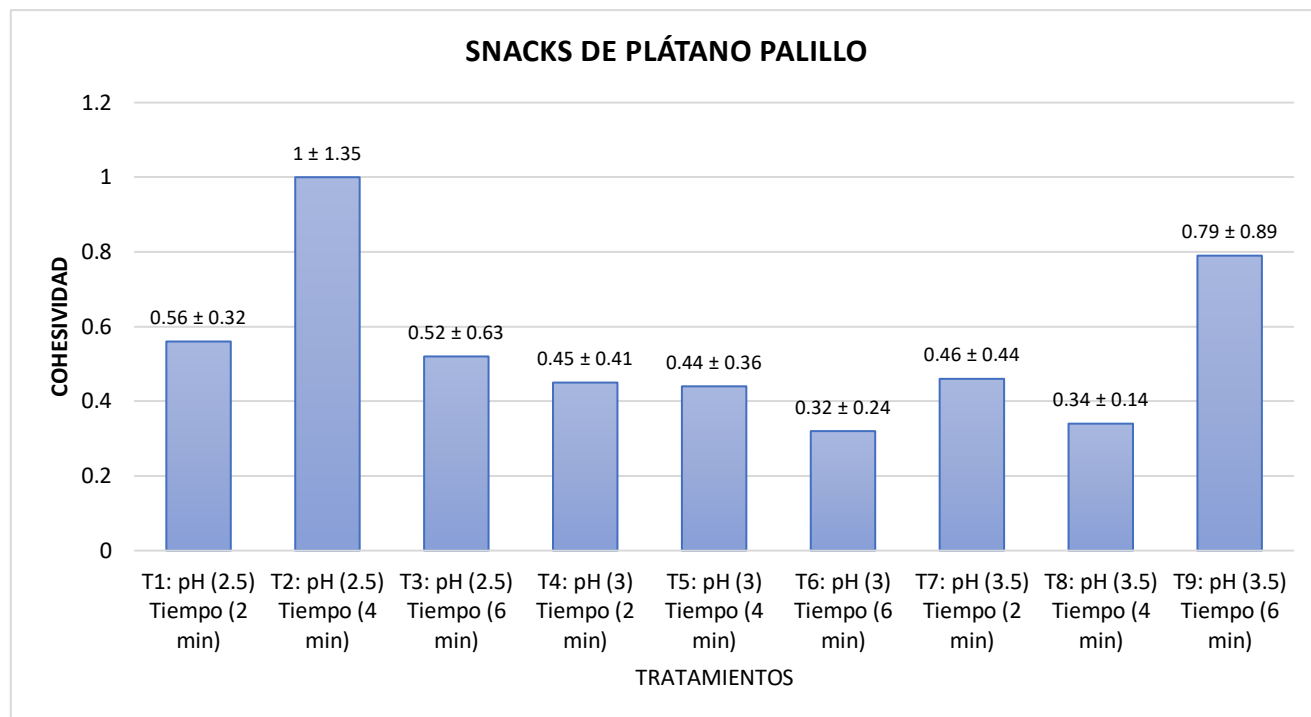
Gráfico de efectos individuales sobre la cohesividad en snacks de plátano palillo



Nota. En la figura 42 se observa el efecto del pH sobre la cohesividad donde el gráfico de la izquierda muestra un comportamiento curvilíneo (parabólico), la cohesividad alcanza su punto máximo (o mínimo numérico en el eje Y) cuando el pH está en un nivel intermedio, ligeramente por encima del nivel codificado 0, al alejarse del centro (hacia pH -1.0 o +1.0), la cohesividad cae drásticamente. Esto indica que niveles extremos de pH (muy ácidos o muy básicos para el proceso) debilitan la estructura interna del snack, la pendiente es más pronunciada en el lado izquierdo (-1.0 a 0), lo que sugiere que el snack es especialmente sensible a niveles bajos de pH. Sobre el efecto del tiempo sobre la cohesividad el gráfico de la derecha muestra una tendencia cóncava opuesta al anterior, se observa un valor mínimo de respuesta cerca del nivel codificado 0.2, la cohesividad es mayor en el tiempo más corto (-1.0). A medida que el tiempo aumenta hacia el centro, la cohesividad disminuye; sin embargo, al llegar al extremo de tiempo (+1.0), parece recuperarse ligeramente. A un tiempo de procesamiento corto mantiene la estructura original, mientras que un tiempo medio la debilita, y un tiempo muy prolongado podría estar endureciendo el producto por pérdida excesiva de humedad o caramelización. El pH tiene un efecto más "estable" en el centro para maximizar la cohesividad.

Figura 43

Promedios para cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo



Nota. De la tabla 15 y la figura 43 se observa que la cohesividad más alta en snacks de plátano palillo fue 1 ubicado en T2 a un pH de (2.5) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (4 min), y la cohesividad más baja en snacks de plátano palillo fue 0.32 ubicado en T6 a un pH de (3) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido de (6 min).

El tiempo de pretratamiento con ultrasonido es un factor determinante en la cohesividad del snack. Se observa una relación directa entre la duración del pretratamiento por ultrasonido y el grado de cohesividad, donde nuestros resultados de aplicar 4 minutos como tiempo de pretratamiento por ultrasonido obtuvo una mayor cohesividad de con valor (1) lo cual concuerda con lo reportado por Campo et al. (2020) sobre los efectos del ultrasonido en la estructura de los alimentos, reflejando la importancia del tiempo de pretratamiento en la textura final del producto (snack de plátano palillo). Por su parte Bastidas (2022) señala que el control del tiempo de pretratamiento con ultrasonido puede ser una herramienta efectiva para manipular la cohesividad del producto final, permitiendo ajustar esta característica textural según las preferencias del consumidor o los requerimientos del proceso de producción.

Pisco (2023) y Pino (2019) en sus estudios sobre las aplicaciones del ultrasonido en los alimentos afirman que es importante comprender el mecanismo exacto por el cual el ultrasonido afecta la cohesividad del snack del plátano palillo, lo cual aportaría una

información valiosa para la optimización del proceso de producción. Taiwo y Baik (2017) en su investigación realizada para fritura de plátanos a diferentes temperaturas siendo las muestras fritas a 150 °C las que presentaron la menor cohesividad. Los tratamientos como el escaldado y el recubrimiento fortalecen la estructura del producto mediante el ligado del agua y dan cohesividad a las muestras.

Kassama y Ngadi (2022) señalan que con altas temperaturas aumenta la porosidad del producto y disminuye la cohesividad; sin embargo, estos resultados se pueden justificar debido a que cuando las muestras tienen mayor contenido de agua, en este caso las fritas a 150 °C, se presenta mayor degradación hidrotérmica de la pectina de los tejidos en las paredes celulares produciendo una disminución en la estructura del parénquima de la batata.

El pH influye también en la cohesividad del snack de plátano palillo, lo cual concuerda con estudios previos que señalan cómo el pH puede modificar las propiedades fisicoquímicas de los alimentos, afectando su textura y estabilidad. Ponce (2022) encontró que el pH afecta la inhibición del pardeamiento enzimático en snacks de plátano, alterando sus características finales. En nuestro estudio, un pH de 2.5 resultó en la mayor cohesividad del snack, subrayando su importancia en la modificación de la estructura del producto durante el pretratamiento por ultrasonido.

González et al., (2021) indica sobre la cohesividad que es la tendencia a estar más unido el producto y su menor tendencia a desintegrarse debido a una acción mecánica por lo que tomando en cuenta la influencia del pH en esta característica, el snack será más compacto con un nivel alto de cohesividad de (1) si se le somete a un pretratamiento en solución de pH de 2.5, indicando que las soluciones más ácidas fortalecen la estructura del producto y dan mayor cohesividad a las muestras de los snacks; en comparación al estudio de Talens (2017) encuentra que las muestras que somete a un pH de 3 la cohesividad será mas baja con (0.32).

El pH desempeña un papel crucial en la cohesividad de los snacks de plátano, ya que afecta la integridad estructural de los componentes celulares durante el procesamiento térmico. A pH más bajo, las pectinas y otras fibras estructurales tienden a mantenerse más estables, formando una matriz interna más densa y continua. Esto se traduce en una mayor cohesión del producto durante y después de la fritura. Además, el pH modula la

gelatinización del almidón; en condiciones ácidas, esta transformación es más controlada, contribuyendo a una textura más uniforme y cohesiva. Estos efectos combinados reducen la porosidad y aumentan la resistencia estructural del snack, mejorando su cohesividad (Brookfield Engineering, 2024).

El tiempo de pretratamiento por ultrasonido también tuvo un impacto significativo, fue menor en comparación con el pH. Esto coincide con los hallazgos de Mallqui y Paredes (2022), quienes observaron que los tiempos de sonicación afectan las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos, aunque la potencia del ultrasonido es más influyente. En nuestro estudio, un tiempo de 4 minutos resultó en la mayor cohesividad del snack, sugiriendo que una mayor duración del ultrasonido mejora la cohesión de la matriz del producto, posiblemente debido a una mayor gelificación o modificación estructural.

Para Valdez (2018) el pH más ácido podría causar cambios en la estructura de las proteínas y pectinas del plátano, aumentando posiblemente las interacciones entre estas moléculas y resultando en una estructura más cohesiva tras el freído. Para Piñeros y Sánchez (2023) los tiempos de exposición al ultrasonido más largos podrían causar una mayor desintegración de la estructura celular, permitiendo una redistribución más uniforme de los componentes del plátano, lo que resultaría en una textura más cohesiva. Según Carpintero (2021) la combinación de pH ácido y tiempos de ultrasonido más largos podría favorecer la formación de una estructura más homogénea durante el freído, lo que resultaría en un snack más cohesivo. El pH más ácido podría afectar la gelatinización del almidón durante el freído, llevando a una textura más cohesiva (Rosales, 2024).

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en la dureza donde el valor más alto fue 71.56 g-f en T1 a un pH de (2.5) y tiempo de ultrasonido de (2 min)
- Se determinó el efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en la fracturabilidad donde el mayor valor fué 29.22 g-f en T2 con pH (2.5) y tiempo de ultrasonido de (4 min).
- S determinó efecto del pH y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en la cohesividad) en snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) donde el valor más alto fue 1 en T2 con pH (2.5) y tiempo de ultrasonido (4 min).

5.2. Recomendaciones

- Evaluar la absorción del aceite utilizando diferentes presiones de vacío y analizar sensorialmente los snacks fritos de plátano palillo.
- Utilizar diferentes frecuencias de ultrasonido y nuevas formulaciones de ácido cítrico para determinar si se obtienen mejores resultados de dureza, fracturabilidad y cohesividad en los snacks de plátano palillo.
- Realizar por separado la inmersión ácido cítrico y el pretratamiento con ultrasonido a las hojuelas del snack de plátano palillo disminuyendo la cantidad de agua para que las concentraciones se impregnen con mayor facilidad en las muestras..

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba, M. (2021). *“Desarrollo de un sistema ultrasónico mediante acoplamiento por aire para control de claridad en la industria alimentaria en línea de producción y en tiempo real”*. [Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/69559/1/TESIS_MASTER_ALBA_MARTIN_GINEL.pdf
- Almilla, L. Buera, P. Camacho, B. Gabilondo, J. (2022). *Subproductos agroindustriales y recursos autóctonos: Procesamiento y técnicas de análisis*. Ediciones INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/11770>
- Altez Rojas, C. Castro Martínez, J. y Reyes Machuca, Y. (2020). *“Análisis del nivel de acrilamida en chifles “chips” comerciales y artesanales elaborados a partir de Musa paradisiaca var. Hartón”*. [Tesis de Grado. Universidad María Auxiliadora]. https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/284/TESIS_FINAL_mod.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Alvídrez, A.; Morales, B.; González, E.; y Jiménez, Z. (2022). *“Tendencias en la producción de alimentos: alimentos Funcionales”*. *RESPYN: Revista de Salud Pública y Nutrición*. Vol 3 N°3. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2002/spn023g.pdf>
- Arellano, D. H. D. R. (2018). Universidad Nacional de Piura.
- Avalos, E. (2024). *“Influencia del secado previo y del tiempo de fritura en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de rebanadas de papa (Solanum tuberosum) frita variedad huevo de indio”*. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/852>.
- Bastidas R. y Toala A. (2022). *“Efecto de la impregnación de cúrcuma (cúrcuma longa) y jengibre (zingiber officinale) sobre el color de un snack de plátano verde (Musa paradisiaca)”*. [Tesis de Grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9c19f8ce-9446-4ff1-9559-130f2c31e9d6/content>

- Bautista, A. y Romero, E. (2020). “*Desarrollo de un prototipo de freidora a vacío y su influencia en el contenido de acrilamida en papas (solanum tuberosum) fritas*”. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6150>
- Basilio, J. (2021). “*Predicción de la vida útil de chifles de plátanos (Musa paradisiaca) mediante modelos matemáticos*”. Tesis de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú, 112. <http://190.119.243.88/bitstream/handle/UNALM/1863/J11.B3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brookfield Engineering Labs. Inc. (2019).
- Brookfield Engineering. (2024). “*Banana chips texture analysis*”. AMETEK Brookfield. https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/application-notes2024/texture/texture_application_note_ctx_banana_chips.pdf
- Campo, Y. Contreras, M. Flórez, S. y Villamizar, L. (2020). “*Efecto del pretratamiento con ultrasonido en la cinética de secado convencional de banano (Musa paradisiaca)*”. [Tesis de Grado. Universidad Francisco de Paula Santander]. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/2820/3308>
- Campo, Y. Gelves, V. y Ayala, A. (2018). “*Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*”. Vol. 16 N°1. p 102-109. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v16n1/1692-3561-bsaa-16-01-00102.pdf>.
- Cárdenas, F. (2021). “*Estudio del Mercado de la Cadena de Plátano*”. https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/604/1/estudio_platano%281%29.pdf.
- Carpintero, M. (2021). *Extracción de carotenoides de la yema de huevo: Evaluación de aplicaciones*. [Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo]. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/60208/TFM_MariaCarpinteroPerez.pdf?sequence=4&isAllowed=y

- Castaño, D. (2023). “*Clasificación y uso tradicional de plantas medicinales por la comunidad Muinane del resguardo Villazul en Puerto Santander, Amazonia colombiana*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84902/1015427617.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Cazar, E. (2022). “*Optimización del proceso de elaboración de snacks de piña (Ananas comosus) mediante la combinación de diferentes condiciones de pre tratamiento y fritura al vacío*”. [Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional]. [84roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10377/3/CD-6176.pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10377/3/CD-6176.pdf).
- Cordero, R. (2023). *Evaluación del impacto de la sonicación sobre los micronutrientes y el color del jugo de piña (Ananas comosus) pulposo*. [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica]. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/83281a10-d799-4a58-9cf7-4e34e7412c4e/content>
- Cuba, B. y Huicho, G. Y. (2024). *Efecto de harina de trigo (Triticum aestivum), harina de chía (Salvia 84rocesó84i L.) y puré de plátano variedad seda (Musa acuminata) en la calidad de galletas enriquecidas*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a4419f96-efba-4762-9e3d-48297e1a08c7/content>
- Chemat, F. Rombaut, N. Meullemiestre, A. Turk, M. Perino, S. y Abert-vian, M. (2017). “*Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction*”. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 41(November 2016), 357–377.
- Delgado, J. (2022). *Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos*. Escuela Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, Bogotá, Colombia. Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales. Volumen 6 – 2012. Pp 142-149. <https://oaji.net/articles/2017/5082-1501180905.pdf>

- De La Ossa, Y. y Rivera, C. (2019). “*Análisis 85rocesó85ids del perfil de textura de los quesos frescos de cabra y vaca, con relación al contenido de grasa y tiempo de almacenamiento*”. Tesis Ing. Colombia, Universidad de Cartagena.
- De la Torre, K. (2021). “*Evaluación sensorial y fisicoquímico de tres tipos de snack (deshidratado, horneado, fritura) a base de melloco (Ullucus tuberosus)*”. [Tesis de Grado. Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. 85roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/1327/1/041-%20DE%20LA%20TORRE%20MOLINA%20KATHERIN%20PAMELA.pdf.
- Del Rosario Arellano, D. H. (2021). “*Elaboración de un sistema HACCP para la producción de chifles embolsados a base de plátano en la empresa La Hojuela*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1455/IND-ROS-ARE-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, Á. (2020). *Efecto de la deshidratación osmótica y ultrasonido como pretratamiento en el secado de batata morada (Ipomoea batatas L.) en un secador tipo túnel*. [Tesis de Maestría, Universidad de Córdoba, Berastegui]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/bf5de982-0fb4-4711-9ecc-205bbd63b770/content>
- Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S. Law, C. y Mujumdar, A. (2021). “*Drying of exotic tropical fruits: a comprehensive review*”. Food Biopr Technoln, 4(2), 163- 185. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-010-0323-7>
- Fernando, E. y Albuja, C. (2021). “*Optimización Del Proceso De Elaboración De Snacks De Piña (Ananas comosus) Mediante La Combinación De Diferentes Condiciones De Pretratamiento Y Fritura Al Vacío*”. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10377>

- Fellows, P. (2020). *“Food Processing Technology: Principles and Practice”*, Second Edition, Bagian 1-4. Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition, Bagian 1-4 Woodhead Publishing in food science and technology. 608.
https://books.google.com/books/about/Food_Processing_Technology.html?hl=es&id=w6nJo2Zui4MC
- Gamboa, S. (2022). *“Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional”*. Una 86rocesó86 Application of emerging technologies to fruits processing with high nutritional quality. – A review. 57–75
- García, R. (2023). *“Elaboración y comercialización de snacks de plátano para mejorar el nivel socioeconómico del cantón ventanas mediante un pago justo”*. [Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/59162/1/D-P15036.pdf>
- García, J. (2017). *“Contribución Al Estudio De La Aplicación De Ultrasonidos De Potencia En El Secado Convectivo De Alimentos”*.
- González, A. Alvis, A. y Arrázola, G. (2021). *“Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (Ipomoea Batatas Lam) fritos por inmersión”*. Parte 1: Textura. Informacion Tecnologica, 26(1), 95–102.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011>
- Hernández, A. (2019). *“Evaluación sensorial”*. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Herrera, K. (2023). *“Elaboracion de rodajas de camote (Ipomoea batatas) aplicando fritura al vacio”*.
- Herrera, M. y Colonia, L. (2021). *Manejo integrado del cultivo de plátano*. [Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina Oficina Académica de Extensión y Proyección Social Agrobanco]. 86roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Platano/manejo_integrado_del_cultivo_de_platano.pdf.

- Higuera, M y Prado, R. (2017). “*Determinación de los parámetros óptimos de procesamiento para la elaboración de snacks a partir de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*” Tesis previa a la obtención del Título de: Ingeniero Agroindustrial. Pp. 60. Ibarra – Ecuador.
- Hurtado, M. Escobar, B. y Estévez, A. (2021). *Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frejol para consumo ” snack”*. [Tesis de Grado. Universidad de Chile, Santiago]. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Vol. 51 N° 3, 303-308. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2001/3/art-14/>
- INEI, I. N. (2019). *Nota de prensa. PRODUCCIÓN DE PLÁTANO CRECIÓ 8,5 % EN DICIEMBRE DE 2018*. INEI, Lima – Perú. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-platano-crecio-85-com-diciembre-de-2018-11396/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1tano%20ascendi%C3%B3,com%20informaci%C3%B3n%20proporcionada%20por%20el>
- Kassama, L. y M. Ngadi. (2021). “*Pore development and moisture transfer in chicken meat during deep-fat frying*”. *Drying Technology* 23: 907-923
- Krokida, M. Oreopoulou, V. Maroulis, Z. y Marinos-Kouris, D. (2021). “*Colour changes during deep fat frying*”. *Journal of Food Engineering*, 48(3), 219-225. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00161-8)
- Laborde, M. Suárez, Y. y Pagano, A. (2020). “*Deshidratación osmótica combinada de banana en miel*”. Optimización del pre-tratamiento asistido por ultrasonido. 58-59. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/111456/CONICET_Digital_Nro.82bebbd3-a442-475a-85cb-8e64d7f45ac4_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Liu-Ping, F. Min-Zhang y Mujumdar, A. (2005). “*Vacuum Frying of Carrot Chips*”. *Drying Technology*, 23, 645-656. <https://www.semanticscholar.org/paper/Vacuum-Frying-of-Carrot-Chips-Fan-Zhang/3c26868657396fb35b7c6529cd1e5da21484cd2>
- Mallqui, B. y Paredes, C. (2022). “*Evaluación del deshidratado por vacío con tratamiento de ultrasonido en la actividad antioxidante de la gongapa (Vaccinium*

- meridionalis*)”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huanuco]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/8881>
- Marca, C. E. (2023). “*Evaluación de absorción de aceite en la operación de freído para la obtención de los chifles de plátano hartón (Musa paradisiaca)*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú].
<https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/961/004-2-1-055.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, D. Acosta, M. Álvarez, C. y Castellanos, F. “*Fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano verde con recubrimientos comestibles*”. Ingeniería y Competitividad. Vol. 25 N° X. <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v25n1/2027-8284-inco-25-01-e-20411970.pdf>.
- Medina, R. (2024). “*Efecto de diferentes concentraciones de 88rocesó (curcuma longa l.) y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características texturales de snack de plátano palillo (musa paradisiaca l.) freídos al vacío*”
- MINCETUR et al. (s.f). “*Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de EE.UU*”. Productos de Frutas o Frutos. Proyecto BID-ADEX-RTA/CHIFLES. p3. 32-36.
<https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/Chifles.pdf>
- Ministerio, d. S., Instituto, N. d., y Centro, N. d. (2017). “*Información nutricional*”. Tabla peruana de composición de los alimentos. MINSA – INS – CENAN, Lima – Perú.
<https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/20.500.14196/1034/tablas-peruanas-QR.pdf>
- Mondelez International (2019). “*Snacking Made Right 2019 ESG Report*”. Recuperado de: https://www.mondelezinternational.com//media/Mondelez/Snacking-Made-Right/SMRReport/2019_MDLZ_Snacking_Made_Right_Summary.pdf.
- Montes, N. (2016). “*Absorción de aceite en alimentos fritos*” Oil absorption in fried foods. 43(1), 87–91.

- Mora, J. y Suarez, C. (2020). *“Elaboración de chifles de plátano verde (Musa paradisiaca) enriquecidos con polvo de (Cúrcuma longa) como antioxidante”* [Tesis de Grado. Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA%20SUAREZ%20JENNIFFER%20PAOLA.pdf>
- Moreira, C. (2023). *“Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (Musa paradisiaca) y plátanos (Musa sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo humano”*. [Universidad de Guayaquil, Guayaquil – Ecuador]. https://www.academia.edu/20435157/REUTILIZACION_DE_RESIDUOS_DE_LA_CASCARA_DE_BANANOS
- Moreno, J. (2018). *“Calidad de la papa para usos industriales”* Pp. 43 – 48.
- Mostacilla, S. y Ordoñez, A. (2019). *“Evaluación de los parámetros de textura en un snack a partir de una mezcla de cereales desarrollado en la empresa SEGALCO S.A.S.”*. [Tesis de Grado. Universidad el Cauca]. http://repositorio.unicauca.edu.co/bitstream/handle/123456789/1466/EVALUACION_DE_LOS_PARAMETROS_DE_TEXTURA_EN_UN_SNACK_A_PARTIR_DE_UNA_MEZCLA_DE_CEREALES_DESARROLLADO_EN_LA_EMPRESA_SEGALCO_S.A.S.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Narvaez, M. y Salazar, K. (2022). *“Caracterización físico-química y sensorial de chips de plátano (Musa paradisiaca) y yuca (Manihot esculenta) para la reactivación económica post-COVID del Cantón Arajuno”*. [Tesis de Grado. Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/1535/1/076-%20NARVAEZ%20MARCELA%20SALAZAR%20KAROL.pdf>

- Navarro, K. (2020). “*Deshidratación del plátano verde (Musa paradisiaca) variedad inguiri*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”]. 90roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/28c93017-856^a-41be-9638-04586aea7452/content
- Nogales, D. (2018). “*Efecto de la forma y dimensión de muestras de queso fresco y velocidad de prueba sobre el análisis de perfil de textura instrumental*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo; Riobamba – Ecuador]. 90roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4809/1/UNACH-EC-ING-IND-2018-0004.pdf
- NTP 209.226:2023. Cereales y productos derivados.
https://inacal.isolutions.iso.org/obp/ui/#home
- Oladejo, A. O. et al. (2017). “*Effects of ultrasound pretreatments on the kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of sweet potato (Ipomea batatas)*”, Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 43 (2017) 7–17
- Olivares, P. (2024). *Estudio de la calidad microbiológica y Perfil Sensorial en pina fresca y deshidratada con Deshidratador Geotérmico de Alimentos (DGA-600)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de México].
https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000853176/3/0853176.pdf
- Olucha, D. (s.f). “*Estudio de la influencia de los ultrasonidos de Potencia en la transferencia de materia, Propiedades ópticas y mecánicas durante el Tratamiento prefritura de patata*. [Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Valencia].
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27981/TFM%20DAVID%20OLUCHA%20MORENO..pdf;jsessionid=9212D612C9A7647D35E5937C371E1AD4?sequence=1
- Ordóñez, M. L. (2017). “*Experimentación con la fibra de banano (Musa Acuminata) para la innovación de las artesanías de la provincia de “el oro” Cuenca – Ecuador*”. [Tesis de Grado. Universidad de Azuay, Cuenca – Ecuador].
https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7154.

- Parzanese, M. (2016). “*Deshidratación osmótica*”. Ficha N° 6. Obtenido de 91roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/91rocesó91id/Ficha_06_Osmotica.pdf.
- Parzanese, M. (s.f.). “*Tecnologías para la Industria Alimentaria*”. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Revista Alimentos Argentinos. Pp 63-69 <https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/revista/pdfs/58/ULTRASO SONIDOORIGINAL.pdf>
- Perdomo, V. C. (2017). “*Efecto de tiempo de exposición al ultrasonido (40 khz) en las características fisicoquímicas, recuento de bacterias aerobias mesófilas y aceptabilidad general de la pulpa de mango (Mangifera indica l.) Variedad Edward*”. [Tesis de Grado. Universidad Privada Antenor Orrego]. https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/3583/RE_IND.ALIM_VANESSA.PERDOMO_EXPOSICION.AL.ULTRASONIDO_DATOS.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Pillajo, J. Bravo, V. y Vernaza, M. (2019). “*Efecto de la Cocción y la Concentración de Sal como Pretratamiento de Chips de Mashua (Tropaeolum tuberosum) obtenidos por fritura al vacío*”. [Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Equinoccial Quito, Ecuador]. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000400013.
- Pillajo J. y Garcia, P. (2019). “*Estudio del 91rocesó para la obtención de chips salados de mashua*”. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5133>
- Pino, A. (2019). *Efecto bactericida del ultrasonido sobre el microbiota de crema de leche cruda*. [Tesis de Grado. Universidad de Pamplona]. http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4654/1/Pino_2019_TG.pdf
- Pinzón S, Cabrera L, Pico-Fonseca SM. “*La curcuma longa como anti-cancerígeno*”: *Una revisión de la literatura*. Universidad Salud. 2024; 26(1):1-8. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/6452-Texto%20del%20art%C3%Adculo-37416-5-10-20230920.pdf>

- Piñeros, J. y Sánchez C. (2023). “*Valorización del vástago de plátano (Musa paradisiaca L.) en la elaboración de polihidroxicarboxilatos por fermentación con Ralstonia eutropha*”. [Tesis de Grado, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9317/4/6171078-2023-2-IQ.pdf>.
- Pisco, E. (2023). “*Estudios sobre la aplicación de ultrasonido en el procesamiento de alimentos*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e76a281b-ca0a-4e9c-a0eb-bbd8dbfdc95d/content>
- Ponce, C. (2022). “*Evaluación de diferentes dosis de ácido cítrico y ascórbico en la actividad antioxidante de plátano (Musa paracisiaca) para la producción de snacks (chifle)*”. [Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Feliz López, Celta, Ecuador]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8223076>
- Power “*Ultrasonics. Anatomy of an ultrasonic system*” (2017). <http://www.powerultrasonics.com/content/anatomy-ultrasonic-system>.
- Rae, H. (2023). “*Plan de negocios para la producción y exportación de snacks a base de chocho deshidratado, año 2023*”. [Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK Business School]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/5149/1/Rea%20%20c3%81lvarez%20Harold%20Antonio%20.pdf>.
- Ramirez, B. (2020). “*Origen, desarrollo y legado del uso de las especias*”. Centro Universitario de los Altos Guadalajara. Primera Edición. Guadalajara. http://repositorio.cualtos.udg.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/1093/1/Libro%20ESPECIAS_ESPAN%cc%83OL%20SPICES_ENGLISH.pdf

- Ramírez-Navas, J. (2022). “*Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor*”. Cali – Colombia. [Tesis de Grado. Universidad del Valle]. 93roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/257890512_Analisis_sensorial_pruebas_orientadas_al_consumidor/links/00b495260e24536e05000000/Analisis-sensorial-pruebas-orientadas-al-consumidor.pdf.
- Robles, L. y Ochoa, L. (2022). “*Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos*”. *Revista Iberoamericana de Tecnología*. Vol 13, núm2. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81325441002.pdf>.
- Rodríguez, E. (2023). “*Impacto de la fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales de chips de banano (Pisang más)*”. [Tesis de Grado. Universidad de Costa Rica]. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/90070>
- Rolle, L. Siret, R. Río-Segade, S. y Maury, C. (2022). “*Instrumental Texture Analysis Parameters as Markers of Table-Grape and Winegrape Quality*”: A Review. *Am. J. Enol. Vitic.*
- Romero, E. Z. (2016). “*Estudio de mercado del plátano (Musa paradisiaca, L.) en la ciudad de el alto departamento de La Paz*”. [Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10536>
- Rosales, A. (2024). *Efecto del 93roceso de nixtamalización sobre el contenido de 93roceso93ids en diferentes híbridos de maíz*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14655/Tesis%202014%20Aldo%20Rosales%20Nolasco.pdf>

- Rubio, M. (2024). *“Evaluación de la influencia del pre-tratamiento ultrasonico en el contenido de betacaroteno y vitamina c durante el secado de aguaymanto (Physalis peruviana)”*. [Tesis de Grado. Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/6436/TAI00180V75.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sahin, S. (2020). *“Effects of frying parameters on the colour development of fried potatoes”*. European Food Research and Technology, 211(3), 165-168.
<https://doi.org/10.1007/s002170050017>.
- Saldivar, S. (2021). *“Snack Foods: Types and Composition”*. En Encyclopedia of Food and Health (pp. 13-18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00633-4>
- Santillán, M. (2022). *Efecto de la deshidratación osmótica en tubérculos y hortalizas para la obtención de snacks por fritura en inmersión y al vacío*. [Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANTILLAN SIERRA MELANY SUSANA.pdf>
- Shyu, S. y Hwang, L. (2021). *“Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips”*. Food research International, 34, 133-142.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996900001411>
- Sicchar, J. (2022). *“Procesos de elaboración de chifles de plátano y yuca”*. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú].
https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8204/Juan_Exam.Suf.Prof_Titulo_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Stone, H. y Sidel, J. (2018). *“Sensory Evaluation Practices”*. Elsevier Academic Press. London, U.K.

- Taimal, Q. (2019). *“Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura en la mezcla de MAÍZ Zea mays, CHOCHO Lupinus mutabilis Sweet y PAPA solanum tuberosum en el snak.* [Tesis de Grado. Universidad Técnica del Norte Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y ambientales, Ibarra, Ecuador].
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9787/3/03%20EIA%20493%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Talens, P. (2017). *“Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura”*. Universitat Politècnica de València, 1–6.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/83513>
- Tavera, J. Quiroz, M. Urriza, M., Pinotti, A. y Bertola, N. (2015). *“Baked snack from green apples formulated with the addition of isomalt”*. LWT-Food Science and Technology, 62(2), 1004-1010.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/87930/CONICET_Digital_Nro.520a8c0a-fcd4-4c25-8aae-ffd33ac2d027_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Taiwo, K. y Baik, O. (2017). *“Effects of pre-treatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes”*. LWT, 40(4).
- Texture-Technologies. (2019). *“Texture Technologies”*. Obtenido de <http://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#selectcharacteristics>
- Tingal, C. (2019). *“Influencia de los diferentes valores de pH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecnofuncionales de la harina de pajuro (Erythrina edulis)”*. [Tesis de Grado. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú].
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3365/%e2%80%9cINFLUENCIA%20DE%20LOS%20DIFERENTES%20VALORES%20DE%20PH%20Y%20LA%20CONCENTRACI%c3%93N%20DE%20PROTE%c3%8dNA%20EN%20LA%20DETERMINACI%c3%93N%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Torres, G. González, M. y Acevedo, C. (2022). “*Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos*”. Revista Reciteia, Cali- Valle, Colombia. https://www.researchgate.net/publication/283352303_Analisis_del_Perfil_de_Textura_en_Frutas_Productos_Carnicos_y_Quesos
- Torres, J. Acevedo, D. y Montero, P. (2017). “*Efectos de la Fritura al Vacío en los Atributos de Calidad de Arepa con Huevo*”. Información tecnológica, 28(1), 99-108. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000100010#:~:text=En%20la%20fritura%20al%20vac%C3%Ado,de%20los%20alimentos%20con%20mayor
- Urbano, A. García, P. y Monzo, J. (2019). “*Evaluación del comportamiento de yuca (Manihot esculenta Cranz) en el 96roceso de fritura a vacío de chips*”. [https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14424/TM%20ANGELA%20M.%20URBA NO%20RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14424/TM%20ANGELA%20M.%20URBA%20NO%20RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- USDA. (2019). “*Plantains, Green, Raw*” (SR LEGACY, 168215). En FoodData Central. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168215/nutrients>
- USDA. (2019). “*Spices, turmeric, ground (SR LEGACY, 172231)*”. En FoodData Central; in April 2018. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172231/nutrients>
- Valdez, K. (2024). “*Estimación de la vida útil de productos snacks procesados en la empresa procesos VELSAC. SAC mediante análisis fisicoquímicos y sensoriales*”. [Tesis de Grado. Universidad Nacional del Callao]. 96roces-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/414/KrystelCecilia_Tesis_tituloprofesional_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Valdez, B. (2018). “*Efecto de un bioempaque eco-friendly con características antimicrobianas y antioxidantes a base de fibra de cítricos y extracto de orégano, sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de Cyprinus carpio*”. [Tesis de Grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <https://core.ac.uk/download/pdf/154796043.pdf>.

- Vallejo, E. (2016). *Elaboración de hojuelas fritas de Malanga (Xanthosoma sagittifolium) aplicando fritura al vacío*. [Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Equinocial].
https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16650/1/67657_1.pdf.
- Velasco, R. et al. (2017). “*Aplicaciones de los Fluidos Supercríticos en la Agroindustria*”. Revista Información Tecnológica, 18 (1): 53 – 66, 2007.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000100009&l
- Villamizar, K. Rafael. L. Quiceno, H. María, P. Giraldo, M. y Germán, G. (2022). *Efecto del proceso de fritura a vacío sobre la calidad de un pasaboca de mango (Mangifera indica L.)*”. Acta Agronómica, 61(1), 40–51.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122012000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Zhang, J., Yu, P., Fan, L. y Sun, Y. (2021). “*Effects of ultrasound treatment on the starch properties and oil absorption of potato chips*. Ultrasonics Sonochemistry”, 70(August 2020), 105347. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105347>

CAPÍTULO VII

VII. ANEXOS

ANEXO I

Datos de dureza en 9 tratamientos de snacks de plátano palillo

N° Evaluaciones	pH 2.5			pH 3			pH 3.5		
	T1 (2 min)	T2 (4 min)	T3 (6 min)	T4 (2 min)	T5 (4 min)	T6 (6 min)	T7 (2 min)	T8 (4 min)	T9 (6 min)
1	138.47	51.94	28.01	10.47	31.28	23.69	89.73	24.73	26.89
2	138.47	32.87	8.39	30.44	26.32	69.12	22.63	39.50	18.50
3	32.19	9.74	26.81	31.95	17.62	21.87	7.96	60.84	15.32
4	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
5	32.44	31.13	71.24	95.65	32.48	66.31	41.27	26.69	28.36
6	21.14	27.26	21.69	26.65	34.50	21.26	28.15	37.34	44.72
7	138.47	51.94	28.01	10.47	31.28	23.69	89.73	24.73	26.89
8	138.47	32.87	8.39	30.44	26.32	69.12	22.63	39.50	18.50
9	32.19	9.74	26.81	31.95	17.62	21.87	7.96	60.84	15.32
10	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
11	32.44	31.13	71.24	95.65	32.48	66.31	41.27	26.69	28.36
12	21.14	27.26	21.69	26.65	34.50	21.26	28.15	37.34	44.72
13	138.47	51.94	28.01	10.47	31.28	23.69	89.73	24.73	26.89
14	138.47	32.87	8.39	30.44	26.32	69.12	22.63	39.50	18.50
15	32.19	9.74	26.81	31.95	17.62	21.87	7.96	60.84	15.32
16	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
17	32.44	31.13	71.24	95.65	32.48	66.31	41.27	26.69	28.36
18	21.14	27.26	21.69	26.65	34.50	21.26	28.15	37.34	44.72
19	138.47	51.94	28.01	10.47	31.28	23.69	89.73	24.73	26.89
20	138.47	32.87	8.39	30.44	26.32	69.12	22.63	39.50	18.50
21	32.19	9.74	26.81	31.95	17.62	21.87	7.96	60.84	15.32
22	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
23	32.44	31.13	71.24	95.65	32.48	66.31	41.27	26.69	28.36
24	21.14	27.26	21.69	26.65	34.50	21.26	28.15	37.34	44.72
25	138.47	51.94	28.01	10.47	31.28	23.69	89.73	24.73	26.89
26	138.47	32.87	8.39	30.44	26.32	69.12	22.63	39.50	18.50
27	32.19	9.74	26.81	31.95	17.62	21.87	7.96	60.84	15.32
PROMEDIO	71.56	31.4885185	29.918889	38.52	28.85	37.01	36.40	36.89	24.87
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	52.65	13.3275575	19.099576	26.57	6.10	22.30	27.75	12.91	9.70

Nota. En la tabla se muestran los promedios y la desviación estándar para dureza en 9 tratamientos de snacks de plátano palillo.

ANEXO II

Datos de fracturabilidad en 9 muestras de snacks de plátano palillo

N° Evaluaciones	pH 2.5			pH 3			pH 3.5		
	T1 (2 min)	T2 (4 min)	T3 (6 min)	T4 (2 min)	T5 (4 min)	T6 (6 min)	T7 (2 min)	T8 (4 min)	T9 (6 min)
1	13.10	51.94	28.01	10.47	29.20	10.36	50.03	10.89	26.89
2	13.10	32.87	7.63	19.77	18.93	63.12	9.41	7.71	11.73
3	3.43	9	26.81	31.95	12.55	19.61	7.96	60.84	15.32
4	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
5	18.73	20.09	36.87	20.99	32.48	43.82	32.42	26.69	16.81
6	19.38	23.97	15.91	19.18	8.61	4.94	19.40	5.81	27.99
7	13.10	51.94	28.01	10.47	29.20	10.36	50.03	10.89	26.89
8	13.10	32.87	7.63	19.77	18.93	63.12	9.41	7.71	11.73
9	3.43	9	26.81	31.95	12.55	19.61	7.96	60.84	15.32
10	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
11	18.73	20.09	36.87	20.99	32.48	43.82	32.42	26.69	16.81
12	19.38	23.97	15.91	19.18	8.61	4.94	19.40	5.81	27.99
13	13.10	51.94	28.01	10.47	29.20	10.36	50.03	10.89	26.89
14	13.10	32.87	7.63	19.77	18.93	63.12	9.41	7.71	11.73
15	3.43	9	26.81	31.95	12.55	19.61	7.96	60.84	15.32
16	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
17	18.73	20.09	36.87	20.99	32.48	43.82	32.42	26.69	16.81
18	19.38	23.97	15.91	19.18	8.61	4.94	19.40	5.81	27.99
19	13.10	51.94	28.01	10.47	29.20	10.36	50.03	10.89	26.89
20	13.10	32.87	7.63	19.77	18.93	63.12	9.41	7.71	11.73
21	3.43	9	26.81	31.95	12.55	19.61	7.96	60.84	15.32
22	43.03	35.97	30.01	46.62	33.75	18.89	25.89	28.62	18.89
23	18.73	20.09	36.87	20.99	32.48	43.82	32.42	26.69	16.81
24	19.38	23.97	15.91	19.18	8.61	4.94	19.40	5.81	27.99
25	13.10	51.94	28.01	10.47	29.20	10.36	50.03	10.89	26.89
26	13.10	32.87	7.63	19.77	18.93	63.12	9.41	7.71	11.73
27	3.43	9	26.81	31.95	12.55	19.61	7.96	60.84	15.32
PROMEDIO	17.51	29.228519	23.83	24.37	22.32	27.26	23.99	23.77	19.42
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	12.11	14.301388	9.8601872	11.59	9.72	21.05	17.66	20.01	6.14

Nota. En la tabla se muestran los promedios y la desviación estándar para fracturabilidad en 9 tratamientos de snacks de plátano palillo.

ANEXO III

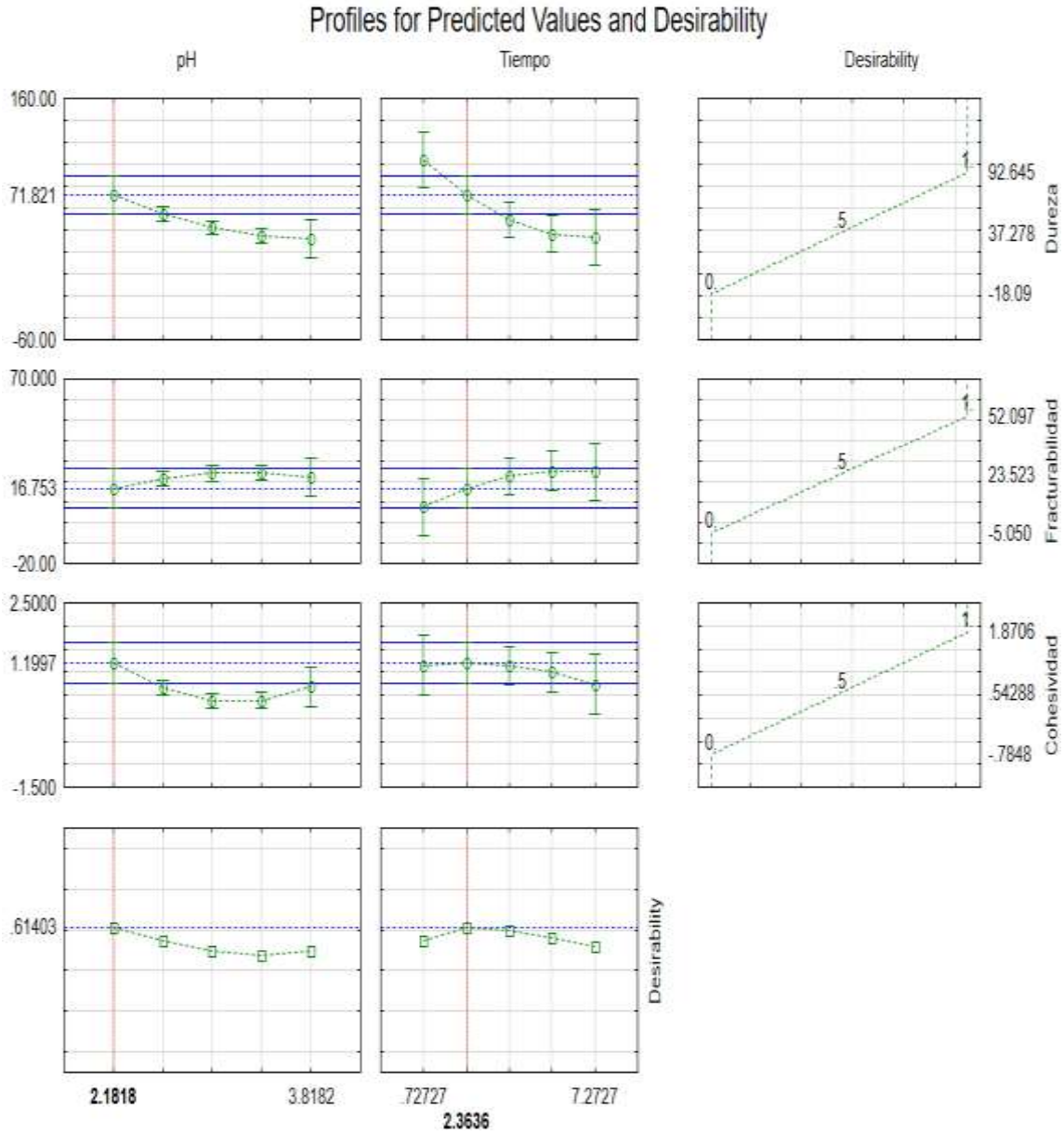
Datos de cohesividad en 9 muestras de snacks de plátano palillo

N° Evaluaciones	pH 2.5			pH 3			pH 3.5		
	T1 (2 min)	T2 (4 min)	T3 (6 min)	T4 (2 min)	T5 (4 min)	T6 (6 min)	T7 (2 min)	T8 (4 min)	T9 (6 min)
1	0.97	3.72	0.55	0.39	0.32	0.08	1.28	0.26	0.50
2	0.97	0.9	1.79	0.32	0.19	0.77	0.43	0.22	0.12
3	0.40	0.1	0.12	0.35	0.43	0.30	0.07	0.48	0.77
4	0.25	0.45	0.18	0.32	0.37	0.30	0.59	0.52	0.59
5	0.24	0.25	0.25	1.38	1.27	0.28	0.20	0.15	2.81
6	0.38	0.15	0.03	0.03	0.17	0.13	0.07	0.41	0.21
7	0.97	3.72	0.55	0.39	0.32	0.08	1.28	0.26	0.50
8	0.97	0.9	1.79	0.32	0.19	0.77	0.43	0.22	0.12
9	0.40	0.1	0.12	0.35	0.43	0.30	0.07	0.48	0.77
10	0.25	0.45	0.18	0.32	0.37	0.30	0.59	0.52	0.59
11	0.24	0.25	0.25	1.38	1.27	0.28	0.20	0.15	2.81
12	0.38	0.15	0.03	0.03	0.17	0.13	0.07	0.41	0.21
13	0.97	3.72	0.55	0.39	0.32	0.08	1.28	0.26	0.50
14	0.97	0.9	1.79	0.32	0.19	0.77	0.43	0.22	0.12
15	0.40	0.1	0.12	0.35	0.43	0.30	0.07	0.48	0.77
16	0.25	0.45	0.18	0.32	0.37	0.30	0.59	0.52	0.59
17	0.24	0.25	0.25	1.38	1.27	0.28	0.20	0.15	2.81
18	0.38	0.15	0.03	0.03	0.17	0.13	0.07	0.41	0.21
19	0.97	3.72	0.55	0.39	0.32	0.08	1.28	0.26	0.50
20	0.97	0.9	1.79	0.32	0.19	0.77	0.43	0.22	0.12
21	0.40	0.1	0.12	0.35	0.43	0.30	0.07	0.48	0.77
22	0.25	0.45	0.18	0.32	0.37	0.30	0.59	0.52	0.59
23	0.24	0.25	0.25	1.38	1.27	0.28	0.20	0.15	2.81
24	0.38	0.15	0.03	0.03	0.17	0.13	0.07	0.41	0.21
25	0.97	3.72	0.55	0.39	0.32	0.08	1.28	0.26	0.50
26	0.97	0.9	1.79	0.32	0.19	0.77	0.43	0.22	0.12
27	0.40	0.1	0.12	0.35	0.43	0.30	0.07	0.48	0.77
PROMEDIO	0.56	1	0.5237037	0.45	0.44	0.32	0.46	0.34	0.79
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.32	1.3508117	0.63799655	0.41	0.36	0.24	0.44	0.14	0.89

Nota. En la tabla se muestran los promedios y la desviación estándar para cohesividad en 9 tratamientos de snacks de plátano palillo.

ANEXO IV

Optimización de resultados de dureza, fracturabilidad y cohesividad para snacks de plátano palillo



ANEXOS V

Máquinas y equipos utilizados en la obtención de snacks de plátano palillo



Balanza analítica



Freidora de vacío



Equipo y bomba de vacío



pH metro digital



Equipo de ultrasonido



Rebanadora de acero inoxidable de hojuelas

ANEXO VI

Proceso de obtención de snacks de plátano palillo



Pesado de plátano palillo



Pelado de muestras



Laminado de muestras



Pesado de hojuelas



Preparación de solución de ácido cítrico



Muestras en solución de ácido cítrico



Muestras en equipo de ultrasonido



Fritura de muestras al vacío



Escurreido de muestras fritas



Secado de muestras con papel absorbente



Snacks en bolsas de cierre hermético

ANEXO VII

Medición de textura instrumental (dureza, fracturabilidad, cohesividad) en snacks de plátano palillo

